

УДК 57:574.2+539.1.04+577.121+574.34

**МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ
APODEMUS (S.) URALENSIS (MURIDAE, RODENTIA)
НА РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ**

Н. А. Орехова, Л. Н. Расина

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
Россия, 620144, Екатеринбург, 8 Марта, 202
E-mail: naorekhova@mail.ru; rasina@ipae.uran.ru*

Поступила в редакцию 06.08.12 г.

Метаболические реакции *Apodemus (S.) uralensis* (Muridae, Rodentia) на радиоактивное загрязнение среды обитания в зависимости от динамики численности популяции. – Орехова Н. А., Расина Л. Н. – С целью определения наиболее значимых реакций организма животных и человека на радиоактивное загрязнение среды обитания у малой лесной мыши (*Apodemus (S.) uralensis*) зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) изучали зависимость биохимических показателей липидного, углеводного, белкового метаболизма от динамики численности популяции как одного из основных экологических факторов. С возрастанием численности животных на ВУРСе установлено более выраженное, чем на контрольной, фоновой, территории, повышение уровня окислительного метаболизма и клеточно-тканевой функциональной активности, сопряженное с угнетением биосинтеза белков и липидов, что характеризует состояние хронического стресса с признаками истощения энергетических ресурсов организма. Дифференцированный учет численности популяции позволяет откорректировать результаты радиационных эффектов, их интерпретацию, подчеркивая необходимость изучения основных экологических факторов при оценке техногенных, в первую очередь радиационных, воздействий на популяции человека и животных.

Ключевые слова: зона ВУРСа, малая лесная мышь, липидный, углеводный и белковый обмен, динамика численности популяции.

Metabolic reactions of *Apodemus (S.) uralensis* (Muridae, Rodentia) to radioactive contamination of the environment as depends on the population number dynamics. – Orekhova N. A. and Rasina L. N. – In order to reveal most important reactions of animal and human bodies on radioactive contamination of the environment, the dependence of biochemical parameters of lipid-, carbohydrate-, and proteo-metabolism on the population number dynamics as a major environmental factor was studied in the pygmy wood mouse (*Apodemus (S.) uralensis*) within the East-Ural Radioactive Trace (EURT). As the population number within the EURT area increases, an increased level of the oxidative metabolism and cell-tissue functional activity, combined with the protein and lipid biosynthesis inhibition, has been found to get more pronounced in comparison with reference (background) territories. This characterizes the condition of chronic stress with some symptoms of energy resource exhaustion in the body. A differentiated account of the population number enables one to correct the results of radiation effects and their interpretation, emphasizing the need to study major environmental factors in evaluation of technogenic (first of all, radiative) effects on human and animal populations.

Key words: EURT area, pygmy wood mouse, lipid-, proteo-, carbohydrate- metabolism, population number dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Морфо-физиологическое, функционально-метаболическое состояния животных из природной среды характеризуют последствия радиационных аварий, одновременно служат составной частью многофакторного анализа сочетанного влияния природных и антропогенных воздействий на организм и популяции в целом. Динамика численности как один из основных экологических факторов популяционного гомеостаза является результатом влияния внешних и внутренних воздействий – погодные условия, кормовая база, наличие хищников и др., плотностно-зависимые авторегуляторные механизмы (Шилов, 1967; Жигальский, 2002; Роговин, Мошкин, 2007). Показана роль высокой численности популяции как стрессорного фактора, влияющего на метаболические характеристики организма и, как следствие, энегообразующие процессы, определяющие уровень функционирования клеточно-тканевых систем и организма в целом (Шилов, 1984; Чернявский и др., 2003; Christian, 1963).

Цель работы – исследование зависимости метаболических реакций в организме мелких млекопитающих, обитающих в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), от среднегодовых значений численности их популяции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отлов мелких грызунов проводился в период с 2002 г. по 2006 г. в соответствии с общепринятыми методами (Карасева, Телицына, 1996) на двух стационарных участках. Первый участок расположен в головной части ВУРСа с плотностью загрязнения почвы по ^{90}Sr от 6740 до 16690 кБк/м², второй – на сопредельной территории с плотностью 43.7 кБк/м², принятой в качестве контроля (Позологина и др., 2008). Уровень загрязнения почвы на контрольном участке более чем на порядок ниже концентраций радионуклидов, признанных предельными для безопасного проживания населения в зоне ВУРСа, γ -фон не превышает средних значений по территории Урала (Nikipelov et al., 1989).

Выборки малой лесной мыши (*Apodemus (S.) uralensis* Pall., 1811) в зоне ВУРСа составили 34 особи, на контрольном участке – 30. Животные были откалиброваны по функционально-возрастному статусу и представлены сеголетками второго типа онтогенеза, неразмножающимися в год своего рождения, что оценивали по состоянию генеративной и зубной систем (Колчева, 1992; Оленев, 2002).

За период 2002 – 2006 гг., согласно исследованиям Е. Б. Григоркиной, Г. В. Оленева, М. В. Модорова (Григоркина и др., 2008), среднегодовая относительная численность малой лесной мыши

Таблица 1
Среднегодовые значения численности малой лесной мыши

Год отлова	Численность, ос./ 100 л-с	
	Контроль	ВУРС
2002	15.2	14.4
2004	6.7	7.6
2005	21.1	26.3
2006	18.4	28.1

варьировала в контроле от 6.7 до 21.1 ос./ 100 л-с, на ВУРСе – от 7.6 до 28.1 ос./ 100 л-с. Максимальная численность зарегистрирована в 2005 г. и 2006 г., минимальная – в 2004 г. (табл. 1).

Метаболические реакции исследовали по двенадцати биохимическим показателям.

мическим показателям с помощью спектрометрических и колориметрических методов:

– углеводный обмен по содержанию гликогена печени (Данченко, Чиркин, 2010), концентрации глюкозы плазмы крови, активности глюкозофосфатизомеразы эритроцитов периферической крови (Коровкин, 1965);

– липидный обмен по концентрации общих липидов (Fletcher, 1968) и малонового диальдегида как продукта их перекисного окисления (МДА) в печени, надпочечниках, миокарде и плазме периферической крови (Стальная, Гаришвили, 1977);

– белковый обмен по содержанию общего белка плазмы крови и селезенки (Bradford, 1976).

Подробно методы биохимических исследований представлены в публикации Л. Н. Расиной, Н. А. Ореховой (2009).

Статистическая обработка данных проведена при помощи пакетов прикладных программ STATISTICA (v 8.0) и STATGRAPHICS (v 8.0). Зависимость биохимических показателей от среднегодовых значений численности исследована методом регрессионного анализа (Дрейпер, Смит, 2007). Многомерное сравнение выборок проанализировано с помощью дискриминантного анализа (Ким и др., 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поддержание популяционного гомеостаза осуществляется на базе эколого-физиологических механизмов, в основе которых лежит адаптационный синдром (Шилов, 1984; Christian, 1963). На пике максимальной численности популяции, в период обострения конкуренции между особями за ресурсы среды обитания, возникает состояние стресса, которое вызывает не только интенсификацию метаболизма, но и модифицирует поведение, ингибирует рост и репродуктивную систему организма (Чернявский и др., 2003; Завьялов и др., 2007). Перечисленные изменения ведут к лимитированию перенаселения популяции, способствуя ее адаптации в условиях более низкой кормовой базы (Роговин, Мошкин, 2007).

В то же время стресс в классическом описании Г. Селье (Selye, 1946) может быть лишь одним из проявлений, составляющих общую систему неспецифических адаптационных реакций организма. Исследованиями ряда авторов (Горизонтов, Протасов, 1968; Панин, 1983; Хайдарлиу, 1989; Гаркави и др., 1990) показана зависимость интенсивности метаболических изменений от степени воздействия экологических факторов.

Установлены различия функционально-метаболических реакций в организме малой лесной мыши на изменение численности популяции между контрольной территорией и зоной ВУРСа. На контрольной территории с возрастанием численности популяции возрастает уровень мобилизованности энергетических резервов в соответствии с повышением концентрации общих липидов и глюкозы плазмы крови, снижением гликогена и повышением уровня липидов печени (рис. 1). Наблюдается интенсификация окислительного метаболизма в тканях, взаимообусловленная повышением их функционирования в результате активации глюкозофосфатизомеразы эритроцитов, увеличения концентрации МДА в печени, миокарде и надпочечниках. Эти метаболические механизмы направлены на повышение уровня

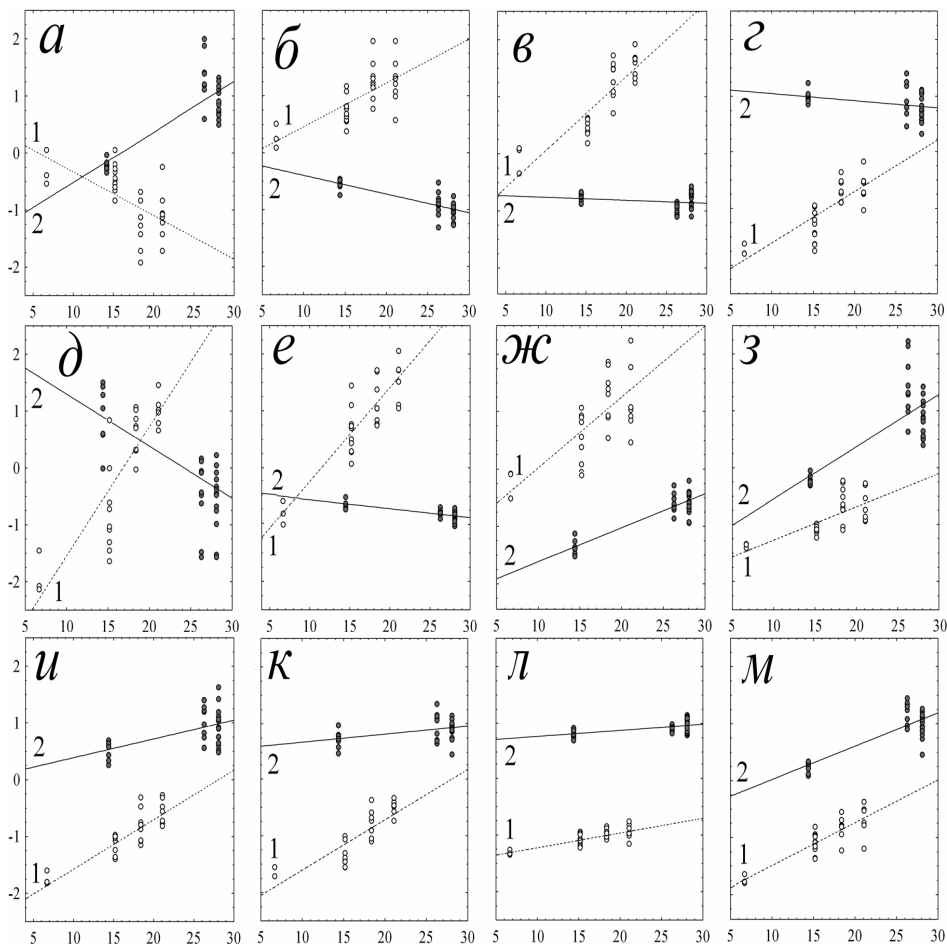


Рис. 1. Зависимость биохимических показателей *Apodemus (S.) uralensis* контрольной (1) и радиоактивно-загрязненной (2) территорий от среднегодовых значений численности популяции. Ось абсцисс: среднегодовые значения численности популяции (ос./ 100 л-с). Ось ординат: биохимические показатели в стандартизованных величинах: *а* – содержание гликогена печени; *б* – концентрация глюкозы плазмы крови; *в* – содержание общего белка селезенки; *г* – концентрация общих липидов печени; *д* – концентрация общих липидов надпочечников; *е* – концентрация общих липидов миокарда; *ж* – концентрация общего белка плазмы крови; *з* – концентрация МДА надпочечников; *и* – концентрация общих липидов плазмы крови; *к* – концентрация МДА миокарда; *л* – активность глюкозофосфатизомеразы эритроцитов; *м* – концентрация МДА печени. Коэффициенты регрессии статистически значимы при $p \leq 0.05$

энергетического гомеостаза (Barnett et al., 1960; Dubuc et al., 1983; Hershosh, Vogel, 1989; Goda et al., 1991) и отражают реакцию организма на возрастание численности популяции. С увеличением численности популяции возрастает концентрация

общего белка плазмы крови и селезенки (см. рис. 1), что характеризует состояние умеренного физиологического напряжения (Панин, 1983; Гаркави и др., 1990).

На территории ВУРСа метаболические реакции на возрастание численности популяции, в отличие от контроля, характеризуются уменьшением концентрации глюкозы плазмы крови, увеличением содержания гликогена печени и снижением уровня общего белка селезенки (см. рис. 1). Установленная зависимость обусловлена длительной стимуляцией адренокортикоидной активности, вызывающей одновременное повышение утилизации глюкозы тканями из циркуляторного русла крови и активацию глюконеогенеза за счет белковой компоненты тканей, прежде всего, селезенки, что является проявлением симптомов хронического стресса (Панин, 1983; Mayer, Rosen, 1977; Scheurink et al., 1989; Aguas et al., 1999; Kirillov, Smorodchenko, 1999). При этом более высокая концентрация МДА печени, миокарда и надпочечников сопровождается более низким уровнем общих липидов в тканях, в отличие от контроля, и характеризует смещение липидного обмена в сторону катаболической составляющей, особенно выраженной в надпочечниках. Результаты свидетельствуют о длительной гиперфункции клеток и тканей при недостаточности энергетических ресурсов организма на восстановительные процессы (Меерсон, 1981). Функционально-метаболические сдвиги в организме животных зоны ВУРСа, связанные с увеличением численности, более выражены, по сравнению с контролем, и являются результатом воздействия радиационного и природных факторов.

Сравнение значений квадрата расстояния Махаланобиса (D^2) по комплексу биохимических показателей при разных значениях численности между выборками животных зоны ВУРСа и контрольной территории характеризует возрастание в 1.5 раза метаболических эффектов хронического облучения в фазу высокой численности популяции (рис. 2).

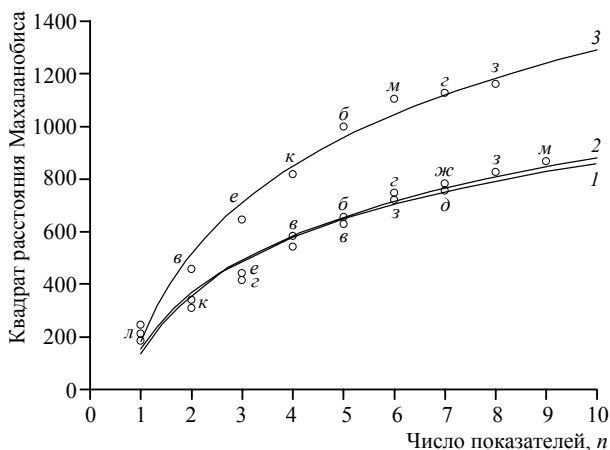


Рис. 2. Значения квадрата расстояния Махаланобиса (D^2) по комплексу биохимических показателей между выборками животных зоны ВУРСа и контрольной территории в годы низкой (1), средней (2) и высокой численности (3). Пошаговый дискриминантный анализ проведен на базе данных, экстраполированных к значениям низкой (7.15 ос./ 100 л-с), средней (14.8 ос./ 100 л-с) и высокой (23.5 ос./ 100 л-с) численности. Условные обозначения см. рис. 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение взаимосвязи биохимических показателей со среднегодовыми значениями численности популяции малой лесной мыши на контрольной территории и в зоне ВУРСа позволило установить:

– на контрольной, фоновой, территории с возрастанием численности животных наблюдается рост окислительного метаболизма и клеточно-тканевой функциональной активности, что при одновременном повышении уровня биосинтеза белков и липидов в тканях свидетельствует об умеренном физиологическом напряжении без признаков истощения энергетических ресурсов организма;

– в зоне ВУРСа функционально-метаболические изменения в организме животных более выражены в фазу высокой численности популяции и являются результатом воздействия радиационного и природных факторов;

– зависимость этих реакций от численности популяции более выражена, сопряжена, в отличие от контрольной территории, с угнетением биосинтеза белков, липидов и характеризует выраженный хронический стресс с признаками длительной гиперфункции клеток и истощения энергетических ресурсов;

– учет численности популяции позволяет откорректировать результаты радиационных эффектов, их интерпретацию, подчеркивая необходимость изучения основных экологических факторов при оценке техногенных, в первую очередь радиационных, воздействий на популяции человека и животных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы междисциплинарных фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 12-М-24-2016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов-н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1990. 223 с.

Горизонтов П. Д., Протасова Т. Н. Роль АКТГ и кортикостероидов в патологии. М.: Медицина, 1968. 335 с.

Григоркина Е. Б., Оленев Г. В., Модоров М. В. Анализ населения грызунов в районах техногенного неблагополучия (на примере *Apodemus (S.) uralensis*) из зоны ВУРСа // Экология. 2008. № 4. С. 299 – 306.

Данченко Е. О., Чиркин А. А. Новый методический подход к определению концентрации гликогена в тканях и некоторые комментарии по интерпретации результатов // Судебно-медицинская экспертиза. 2010. № 3. С. 25 – 28.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд. / пер. с англ. М.: Изд. дом «Диалектика», 2007. 912 с.

Жигальский О. А. Анализ популяционной динамики мелких млекопитающих // Зоол. журн. 2002. Т. 81, № 9. С. 1078 – 1106.

Завьялов Е. Л., Герлинская Л. А., Овчинникова Л. Е., Евсиков В. И. Стресс и территориальная организация водяной полевки (*Arvicola terrestris*) // Зоол. журн. 2007. Т. 86, № 2. С. 242 – 251.

Карасева Е. В., Телицына А. Ю. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Наука, 1996. 227 с.

Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У., Клекко У. Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1998. 215 с.

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ *APODEMUS (S.) URALENSIS*

- Колчева Н. Е.* Динамика экологической структуры популяций лесной мыши на Южном Урале : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1992. 25 с.
- Коровкин Б. Ф.* Энзимы в диагностике инфаркта миокарда. Л. : Медицина. Ленингр. отд-ние, 1965. 128 с.
- Меерсон Ф. З.* Адаптация, стресс и профилактика. М. : Наука, 1981. 278 с.
- Оленев Г. В.* Альтернативные типы онтогенеза цикломорфных грызунов и их роль в популяционной динамике : (экол. анализ) // Экология. 2002. № 5. С. 341 – 350.
- Панин Л. Е.* Биохимические механизмы стресса. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 216 с.
- Позолотина В. Н., Молчанова И. В., Караваева Е. В., Михайловская Л. Н., Антонова Е. В.* Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. Екатеринбург : Гощицкий, 2008. 204 с.
- Расина Л. Н., Орехова Н. А.* Метаболический гомеостаз мелких млекопитающих в условиях Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 2. С. 238 – 245.
- Роговин К. А., Мошкин М. П.* Авторегуляция численности в популяциях млекопитающих и стресс (штрихи к давно написанной картине) // Журн. общ. биологии. 2007. Т. 68, № 4. С. 244 – 267.
- Стальная И. Д., Гаришвили Т. Г.* Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии / под ред. В. Н. Ореховича. М. : Медицина, 1977. С. 66 – 68.
- Хайдарлиу С. Х.* Нейромедиаторные механизмы адаптации. Кишинев : Штиинца, 1989. 178 с.
- Чернявский Ф. Б., Лазуткин А. Н., Мосин А. Ф.* Изменчивость некоторых физиолого-биохимических показателей флуктуирующей популяции красной полевки (*Clethrionomys rutilus*) // Изв. РАН. Сер. биол. 2003. № 3. С. 356 – 364.
- Шилов И. А.* О механизмах популяционного гомеостаза у животных // Успехи совр. биологии. 1967. Т. 64, № 2. С. 333 – 351.
- Шилов И. А.* Стресс как экологическое явление // Зоол. журн. 1984. Т. 63, № 6. С. 805 – 811.
- Aguas A. P., Esaguy N., Grande N., Castro A.P., Castelo Branco N. A.* Effect low frequency noise exposure on BALB/c mice splenic lymphocytes // Aviation Space and Environmental Medicine. 1999. Vol. 70, № 3. P. 128 – 131.
- Barnett S. A., Eaton J. C., Mc Callum N. M.* Physiological effects of «Social Stress» in wild rats. II Liver glycogen a. blood glucose // J. Psychosom. Res. 1960. Vol. 4. P. 251 – 260.
- Bradford M. M.* A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. Vol. 72, № 1 – 2. P. 248 – 254.
- Christian J. J.* Endocrine adaptive mechanisms and the physiologic regulation growth // Physiological mammalogy. 1963. Vol. 1. P. 189 – 353.
- Dubuc P. U., Risimaki S., Cahn P. J., Willis P. L.* Glucose-tolerance in aging obese (ob/ob) and lean mice // Hormone Metabol. Res. 1983. Vol. 15. P. 120 – 123.
- Goda T., Takase S., Yokogoshi H., Mita T., Isemura M., Hoshi T.* Changes in hepatic metabolism thorough simulated weihhtlessness: decrease of glycogen and increase of lipids following prolonged immobilisation in the rat // Research in Experimental Medicine. 1991. Vol. 191, № 3. P. 189 – 199.
- Hershosh D., Vogel W. H.* The effects of immobilisation stress on serum triglycerides, non-esterified fatty acids and total cholesterol in male rats after dietary modifications // Life Scienses. 1989. Vol. 45. P. 157 – 165.

Fletcher M. J. A colorimetric method for estimating serum triglycerides // *J. Clin. Chim. Acta.* 1968. Vol. 22, № 3. P. 393 – 397.

Nikipelov B. V., Romanov G. N., Buldakov L. A. Radiation accident in the the South Urals in 1957 and the elimination of its consequences // *Recovery operation in the event of nuclear accident or radiological emergency : Proc. Symposium. Vienna : IAEA, 1989.* P. 373 – 403.

Kirillov N. A., Smorodchenko A. T. Histochemical characteristics of lymphoid organs in rats subjected to stress // *Bull. of Experimental Biology and Medicine.* 1999. Vol. 127, № 2. P. 171 – 173.

Mayer M., Rosen F. Intererction of glucocorticoids and androgens with skeletal muscle // *Metabolism Clin. Exp.* 1977. Vol. 26, № 8. P. 937.

Scheurink A. J. W., Steffens A. B., Bouritus H., Dreteler G. H., Bruntink R., Remie R., Zaagsma J. Adrenal and sympathetic catecholamines in exercising rats // *Amer. J. Physiol.* 1989. Vol. 25. P. 155 – 170.

Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation // *J. Clinical Endocrinology and Metabolism.* 1946. № 6. P. 117 – 231.