
Л.Н. Расина
канд. биол. наук
(Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского
УрО РАН, г. Екатеринбург)

Н.А. Орехова
канд. биол. наук
(Институт экологии растений и животных УрО РАН,
г. Екатеринбург)

А.Н. Вараксин
д-р физ.-мат. наук, профессор
(Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург)

L.N. Rasina
N.A. Orekhova
A.N. Varaksin

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

STATISTICAL ANALYSIS OF ECOLOGY- PHYSIOLOGICAL DATA IN THE INTERPRETATION OF TECHNOGENIC EFFECTS

*На базе регрессионной модели у лесных мышей (*Apodemus (S.) uralensis* Pall., 1811), обитающих в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), установлена зависимость метаболических показателей от времени содержания в виварии (V) без учета исходного (V=0) состояния метаболизма у животных в природных условиях. На базе экстраполированных к V=0 данных выявлено сужение вариабельности показателей и более выраженные метаболические сдвиги, различия по половому признаку как характеристика стадии физиологической адаптации животных к техногенным условиям среды.*

Ключевые слова: регрессионная модель; радионуклидное загрязнение; метаболический гомеостаз; мелкие млекопитающие.

*On the basis of a regression model at *Apodemus (S.) uralensis* Pall., 1811, living in the area of the Eastern-Ural radioactive trace (EURT), was established the dependence of metabolic parameters from time of detention in vivarium (V) without considering initial (V = 0) state of metabolism in animals under natural conditions. On the basis of extrapolated to V = 0 data was revealed narrowing variability of the parameters and more expressed by metabolic changes, differences according to sex as a characteristic of the stage of physiological adaptation of animals to technogenic environmental conditions.*

Key words: regression model; radionuclide contamination; metabolic homeostasis; small mammals.

Медико-биологические последствия антропогенных воздействий на биоту и адаптационные механизмы в природных популяциях животных, обитающих на загрязненных поллютантами территориях, формируются во взаимосвязи техногенного и эколого-физиологических факторов. Исследования биологического действия ионизирующих излучений на животных природных популяций в зонах радиоактивного загрязнения важны с позиций перспектив проживания на существующих поставарийных территориях и для прогнозирования последствий геоаномально-обусловленных аварий настоящего времени.

В работе проведен статистический анализ показателей метаболического гомеостаза, полученных ранее для двух групп лесных мышей (*Apodemus (S.) uralensis* Pall., 1811) [1]. Выборки из природных популяций были откалиброваны по функционально-репродуктивному статусу. Из 82 экспериментальных животных 37 отловлено на территории ВУРС с загрязнением почвы по ^{90}Sr до 17 МБк/м², 45 животных – на контрольном участке с плотностью по ^{90}Sr до 44 кБк/м² [2].

Метаболический гомеостаз в организме лесных мышей изучали биохимическими методами [3, 4]:

углеводный обмен – по содержанию гликогена печени, концентрации глюкозы в плазме крови, активности глюкозофосфатизомеразы в эритроцитах периферической крови;

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

– белковый обмен – по содержанию общего белка в плазме крови и селезенке.

В условиях полевого стационара нет возможности на месте провести биохимическое тестирование метаболических процессов в организме. Последующая транспортировка и перевод животных в условия вивария требует периода акклимации в течение 7...10 дней. Таким образом, экспериментальное исследование начиналось не ранее десятого дня после отлова и продолжалось в течение последующих 35 сут.

Установлено, что метаболические показатели в организме лесных мышей из зоны ВУРСа изменяются в зависимости от продолжительности содержания животных в виварии (рис. 1); в контрольной группе показатели остаются неизменными [5]. В качестве примера на рисунке 2 приведена концентрация липидов

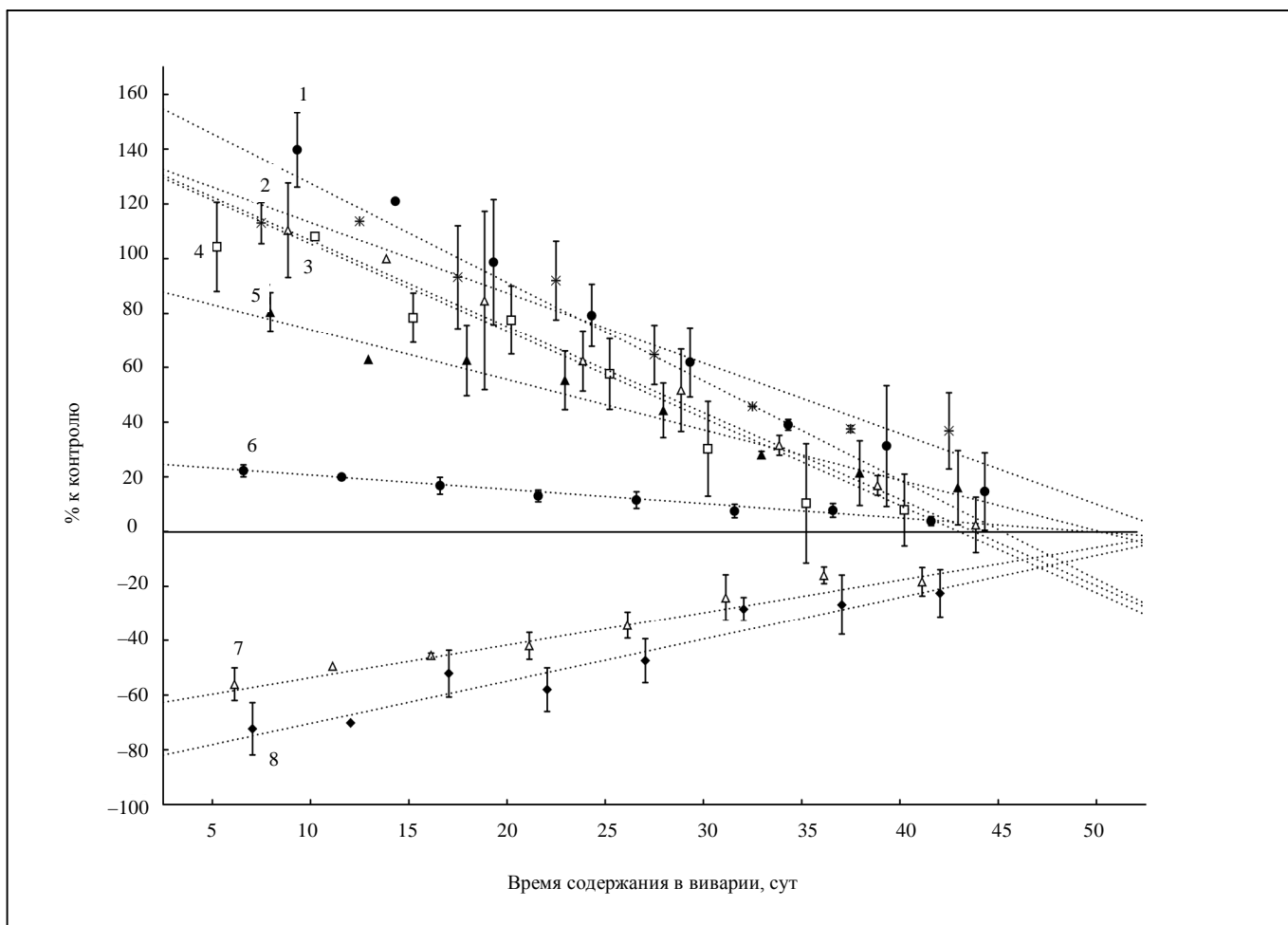


Рис. 1. Изменение показателей метаболического гомеостаза малой лесной мыши из зоны ВУРСа на протяжении 45 сут содержания в виварии: 1 – концентрация холестерина в плазме крови; 2 – концентрация МДА в печени; 3 – концентрация общих липидов в плазме крови; 4 – концентрация общих липидов в надпочечниках; 5 – концентрация общих липидов в печени; 6 – концентрация МДА в миокарде; 7 – концентрация глюкозы в плазме крови; 8 – содержание общего белка селезенки. Приведены средние значения и их 95 %-й доверительный интервал.

в надпочечниках, другие показатели ведут себя аналогичным образом.

Как показывает рисунок 2 линейная зависимость показателей Y от времени содержания в виварии V позволяет экстраполировать их к моменту отлова животных $V=0$. Опишем зависимость Y от V в виде

$$Y = b_0 + b_1 \cdot V, \quad (1)$$

где b_0 и b_1 – коэффициенты регрессии, определенные методом наименьших квадратов [6, 7]. Тогда экстраполированное к $V=0$ значение показателя Y метаболического гомеостаза каждого животного из зоны ВУРСа определяется по формуле (номер животного i)

$$Y_i (\text{экстра}) = Y_i - b_1 \cdot V_i, \quad (2)$$

где $Y_i (\text{экстра})$ – значения Y , экстраполированные к $V=0$, а Y_i – экспериментально определенные значения показателя Y после V_i дней содержания данного животного в виварии. Формула (2) позволяет рассчитать средние значения и дисперсии экстраполированных показателей $Y_i (\text{экстра})$, при этом средние значения Y очевидно равны $Y (\text{экстра})=b_0$.

Поскольку экспериментальные группы представлены самцами и самками, для выяснения особенностей

метаболических реакций в зависимости от пола вновь использована экстраполяция показателей к моменту отлова животных. Средние значения и дисперсии Y и $Y (\text{экстра})$ приведены в таблице.

Полужирным шрифтом выделены статистически значимые ($p < 0,05$) различия с контролем

Данные таблицы показывают, что экстраполированные средние значения показателей животных зоны ВУРСа вне зависимости от пола характеризуют в 1,5...3 раза более выраженные сдвиги в гомеостазе относительно первичных данных. Эти сдвиги относятся в первую очередь к диагностически значимым характеристикам, используемым для оценки физиологической адаптации организма человека к неблагоприятным условиям. Это, прежде всего, нарушение содержания холестерина, общих липидов и глюкозы в плазме крови и в печени. При таком подходе границы дисперсии экстраполированных данных значительно сузились относительно первичных, что вместе с более выраженными сдвигами в гомеостазе подчеркнуло значимость радиационного фактора воздействия.

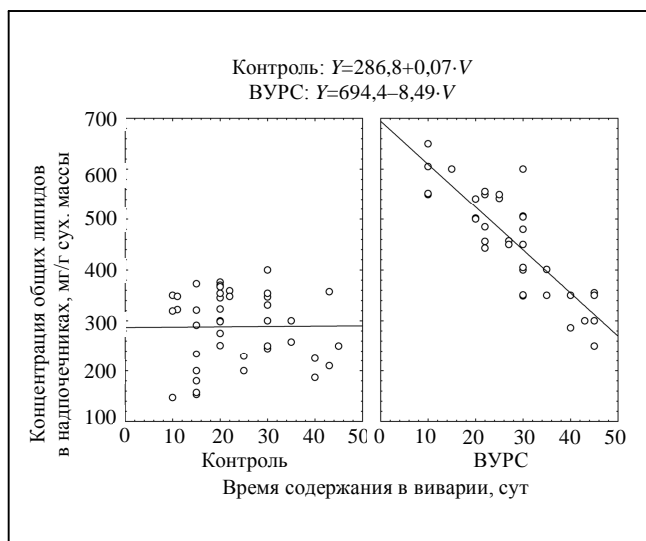


Рис. 2. Зависимость концентрации общих липидов в надпочечниках от времени содержания в виварии V для контрольных животных и животных из зоны ВУРСа. Коэффициенты корреляции Пирсона: в контроле $r = +0,0089$, на ВУРСе $r = -0,846$.

С помощью регрессионной модели (1), (2) выявлены различия по половому признаку в метаболических реакциях на обитание в зоне ВУРСа. У самок более чувствительны параметры белкового и углеводного обмена, у самцов – липидного. Метаболизм у самок в радионуклидной зоне ориентирован на преимущественное использование в энергопродукции углеводных субстратов и продуктов белкового обмена тканей – аминокислот. Согласно фазам формирования неспецифической резистентности к неблагоприятным факторам среды естественного или антропогенного воздействия [8, 9] такие метаболические реакции характерны для более ранней фазы и менее устойчивой стадии физиологической адаптации. У самцов неспецифическая резистентность формируется за счет преимущественного использования наиболее энергоёмких липидных субстратов и относится к более поздней и более устойчивой, по сравнению

с самками, стадии. Этим же могут быть обусловлены некоторые различия в динамике метаболических показателей после разобщения животных с радиоактивным фактором среды обитания в результате содержания в виварии.

Методом пошагового дискриминантного анализа [10] на базе десяти выделенных наиболее значимых показателей проведено разделение животных на четыре группы по принадлежности к полу и зоне обитания (рис. 3). В координатах первых двух дискриминантных функций при использовании экстраполированных данных Y (экстра) различия между животными зоны ВУРСа и контрольной территории более выражены, чем при использовании первичных данных Y . При этом установлены статистически значимые различия в метаболических реакциях между самцами и самками в зоне ВУРСа ($p < 0,0001$), тогда как при использовании первичных данных различий не выявлено.

Выводы

Установленная зависимость метаболических показателей у лесных мышей зоны ВУРСа от времени содержания их в виварии V не показывает истинное состояние гомеостаза на момент отлова и говорит о необходимости экстраполяции показателей к $V=0$.

Выполненная методом простой линейной регрессии экстраполяция первичных экспериментальных данных показала более выраженную реакцию и существенное сужение вариальности метаболизма у животных в загрязненной радионуклидами зоне.

На базе экстраполированных данных установлены статистически значимые различия в метаболических реакциях между самцами и самками в зоне ВУРСа, показавшие разные стадии их физиологической адаптации к техногенным условиям среды.

E-mail: rasina@ios.uran.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расина Л.Н., Орехова Н.А. Метаболический гомеостаз мелких млекопитающих в условиях Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная биология. Радиэкология. 2009. Т. 49. № 2.

Средние значения M изучаемых показателей и их дисперсии S^2 у лесных мышей, обитающих на загрязненной радионуклидами территории ВУРСа (% к контролю)

№	Первичные данные				Экстраполированные данные			
	самки		самцы		самки		самцы	
	M	S^2	M	S^2	M	S^2	M	S^2
1	-32,8	+7,0	-38,2	-39,7	-75,3	-55,0	-64,5	-72,4
2	+59,1	+229,5	+70,6	+80,3	+104,4	+70,4	+95,5	+18,5
3	+0,2	-18,1	+0,3	-0,8	+13,1	-59,0	+13,6	-45,8
4	+37,6	-10,3	+52,9	+0,14	+93,9	-47,9	+99,5	-42,7
5	+53,9	+20,0	+62,5	+46,8	+152,3	-37,7	+133,6	-20,7
6	-12,5	-72,5	-8,8	-74,1	-17,1	-85,3	-18,7	-93,2
7	+41,1	+45,8	+64,4	+43,0	+131,2	-20,3	+143,7	-20,0
8	+55,3	+2,8	+85,4	+16,2	+126,9	-47,9	+148,7	-44,6
9	+104,8	+108,1	+122,2	+86,7	+374,3	+16,9	+388,7	+14,2
10	+10,0	+9,4	+13,6	+30,1	+23,9	-23,2	+27,1	-30,1
11	+52,6	+64,1	+80,6	+83,0	+143,9	-15,4	+176,0	-17,0
12	-41,9	-50,7	-50,0	-51,8	-92,0	-71,5	-77,6	-64,1
13	-5,8	-54,7	-5,9	-58,4	-16,5	-76,1	-12,7	-75,3

Примечание. Показатели: 1 – концентрация глюкозы в плазме крови; 2 – активность глюкозофосфатизомеразы в эритроцитах; 3 – содержание гликогена печени; 4...7 – концентрация общих липидов в печени, надпочечниках, миокарде, плазме крови; 8...10 – концентрация продуктов ПОЛ (МДА) в печени, надпочечниках, миокарде; 11 – концентрация холестерина в плазме крови; 12, 13 – содержание общего белка селезенки, плазмы крови.

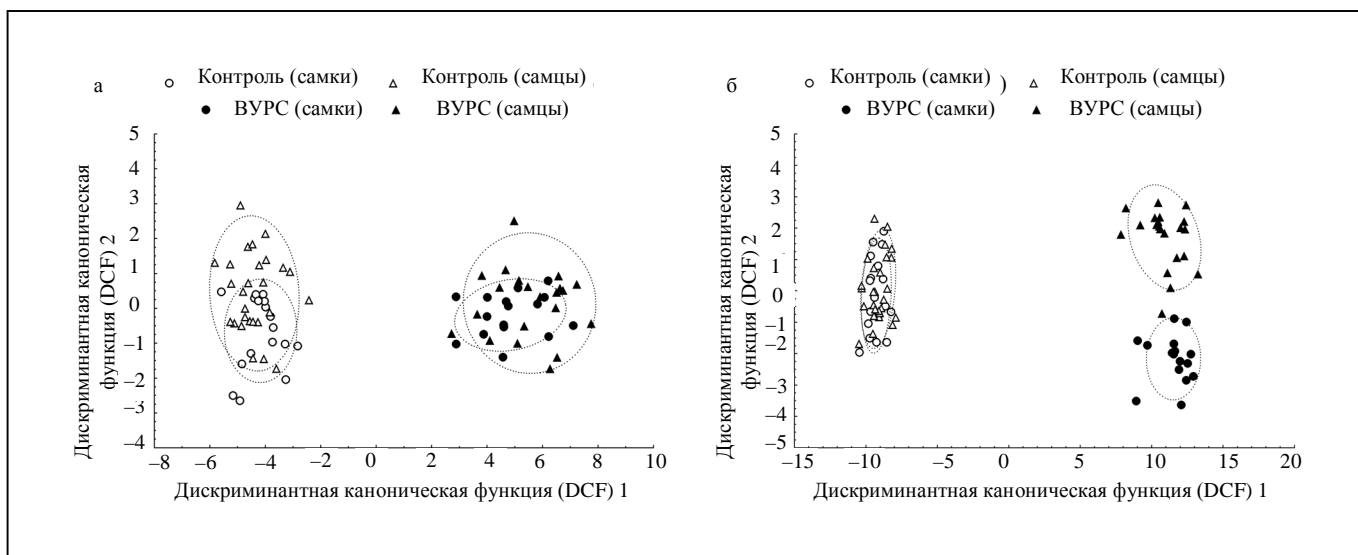


Рис. 3. Положение исследованных выборок в пространстве первых двух дискриминантных канонических функций (95 %-е эллипсоиды) на основе первичных (а) и экстраполированных (б) данных

2. Позолотина В.Н. и др. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. Екатеринбург: Голицынский, 2008.
3. Биохимические методы исследования в клинике / Под ред. А. А. Покровского. М.: Медицина, 1969.
4. Современные методы в биохимии / Под ред. В.Н. Ореховича М.: Медицина, 1977.
5. Орехова Н.А., Расина Л.Н. Механизмы адаптационных процессов у малой лесной мыши на территории ВУРСа // Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды // Материалы Междунар. конф. (Сыктывкар, 28 сентября–1 октября 2009 г.) / Под ред. А. И. Таскаева. Сыктывкар, 2009.
6. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007.
7. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985.
8. Регуляция энергетического обмена и физиологическое состояние организма / Под ред. М.Н. Кондрашовой. М.: Наука, 1978.
9. Панин Л.Е. Биохимические механизмы стресса. Новосибирск: Наука, 1983.
10. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989.

BIBLIOGRAPHY

1. Rasina L.N., Orekhova N.A. Metabolic homeostasis of small mammals in the Eastern Ural Radioactive Trace // Radiation Biology. Radioecology. 2009. Vol. 49. № 2.
2. Pozolotina V.N. et al. Current state of terrestrial ecosystems of the Eastern Ural Radioactive Trace: contamination levels and biological effects. Ekaterinburg: Goshchitskii, 2008.
3. Biochemical methods of investigation in the clinic / Ed. A.A. Pokrovsky. Moscow: Medical, 1969.
4. The modern methods in Biochemistry / Ed. V.N. Orekhovich. Moscow: Medical, 1977.
5. Orekhova N.A., Rasina L.N. Mechanisms of adaptation processes at Apodemus uralensis in EURT // Biological effects of low dose ionizing radiation and radioactive contamination of the environment: proc. Proceedings of International. Conf. (28 sept.–1 oct. 2009) / Ed. A.I. Taskaev. Syktyvkar, 2009.
6. Draper N., Smith H. Applied regression analysis. John Wiley&Sons. 1998. 3rd ed.
7. Aivazyan S.A. et al. Applied Statistics. Study of Relationships. Finansy i statistika (Moscow), 1985.
8. Regulation of energy metabolism and the physiological condition of the organism / Ed. M.N. Kondrashova. Moscow: Science, 1978.
9. Panin L.E. Biochemical mechanisms of stress. Novosibirsk: Science, 1983.
10. Aivazyan S.A. et al. Applied Statistics. Classification and reduction of dimensionality. Finansy i statistika (Moscow), 1989.

