

УДК 599.323.4+591.11+ 504.5:621.039.7+504.5:661

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРОВИ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАДИАЦИОННЫМ ИЛИ ХИМИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

**Тарахтий Э.А., Жигальский О.А.**

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,  
e-mail: tar@ipae.uran.ru; zig@ipae.uran.ru*

Исследованы концентрация, клеточный состав крови и кроветворных органов мелких млекопитающих (*Apodemus sylvaticus*, *Clethrionomys rutilus*, *Clethrionomys glareolus*), обитающих в условиях среды низкоинтенсивного радиационного (Восточно-Уральский радиоактивный след, Свердловская область) и химического загрязнения (выбросы Среднеуральского медеплавильного завода). Установлено, что изменчивость параметров системы крови зависит от вида животных, репродуктивного состояния особей, токсической нагрузки, но не зависит от природы загрязнения. Умеренные сдвиги значений параметров системы крови мелких млекопитающих под влиянием малых концентраций токсикантов носят, как правило, адаптационный характер неспецифического действия.

**Ключевые слова:** низкоинтенсивное радиационное, химическое загрязнение среды, популяции мелких млекопитающих, состав и структура клеток крови и кроветворных органов

## ASSESSMENT THE HEMATOPOIETIC SYSTEM SMALL MAMMALS IN AREAS WITH RADIATION OR CHEMICAL POLLUTION

**Tarakhtii E.A., Zhigalski O.A.**

*Institute of Plants and Animal Ecology, Ural Division, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg,  
e-mail: tar@ipae.uran.ru; zig@ipae.uran.ru*

We studied the concentration of cells and cellular composition of the blood and blood-forming organs of small mammals (*Apodemus sylvaticus*, *Clethrionomys rutilus*, *Clethrionomys glareolus*), living in environments of low-intensity radiation (East Ural Radioactive Trace, Sverdlovsk region) or chemical pollution (emissions of Sredneuralsky smelter). Found that the degree of variability of parameters of the blood depends on the presence of toxic loads, species, reproductive status of individuals, but not on the nature of the contamination. Moderate changes of parameters of the blood system of small mammals to the action of toxicants at low concentrations are within normal limits and are, as a rule, the nature of the adaptation, flows through non-specific mechanisms.

**Keywords:** low radiation, chemical pollution, populations of small mammals, the composition and structure of blood cells and blood-forming organs

Глобальное загрязнение экосистем в результате атомных взрывов, аварий на атомных станциях, неконтролируемого сброса радиоактивных отходов, выбросов промышленных предприятий оказывает значительно большее влияние на окружающую среду, чем естественные источники. Действие малых доз радиационной или химической природы как правило не вызывает клинических проявлений, но изменяет реактивное состояние организма [3, 6, 7], индуцирует комплекс цитогенетических, биохимических изменений в клетках организма [4, 5]. Многочисленные эксперименты, проведенные на разных видах животных и в разных вариантах воздействия облучения или токсических веществ, не дают четкого представления о резистентности животного организма из природных популяций, подвергающегося влиянию загрязненной среды на разных стадиях его формирования, нет единого мнения о степени риска облучения в малых дозах для человека и биоты. Чем более длительно и менее интенсивно их воздействие на организм, тем большее

значение приобретают сопутствующие неблагоприятные факторы [2, 3, 5, 7].

Хроническому действию техногенных факторов подвергаются экосистемы Свердловской области: имеются локальные радиоактивные загрязнения почвенно-растительного покрова после радиационных катастроф на ПО «Маяк» 1957 г. [8]; наблюдаются изменения экосистем в результате многолетних выбросов Среднеуральского медеплавильного завода [1]. Для оценки экологического неблагополучия в качестве индикатора может выступать система крови животного, обладающая высокой чувствительностью к воздействию повреждающих агентов и значимостью для функционирования всего организма [2, 4, 6, 10].

Задача настоящей работы – по комплексу параметров системы крови мелких млекопитающих оценить влияние на организм радиационного и химического загрязнения территорий с целью изучения адаптивного ответа.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования выбраны мелкие млекопитающие отловленные с территорий Восточно-

Уральского радиоактивного следа (ВУРС) Каменского района Свердловской области (19 особей *Apodemus sylvaticus* – 19 контрольных и 9 опытных, 18 особей *Clethrionomys rutilus* – 9 контрольных и 9 опытных) и Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) (22 особи *Clethrionomys glareolus*, Shreber 1780 – 15 контрольных и 7 опытных, соответственно в 30 и 1–2 км зоне от завода). В анализе использованы достаточно однородные по репродуктивно-возрастному статусу сеголетки, не включены беременные самки и особи с массой тела 12 г и менее.

У каждого животного определяли параметры крови (концентрацию, клеточный состав лейкоцитов и эритроцитов, гемоглобин, гематокрит), параметры эритроцитов (средний диаметр, объем, толщина, содержание и концентрация гемоглобина в эритроците, площадь его поверхности, концентрация гемоглобина на единицу площади поверхности), способность крови переносить кислород единицей объема. Определяли массу и клеточность селезенки, концентрацию и состав клеток костного мозга бедренной кости, пролиферативную активность, индексы созревания эритроцитов и гранулоцитов. Определяли содержание радионуклидов в зольном остатке костно-мышечной ткани каждой тушки (с удаленными органами и черепом), концентрацию металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в органах и тушке [6]. Полученные данные анализированы с помощью «Statistica for Windows», различия между показателями оценивали по Terkey-тесту для разного числа животных.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Радиационная обстановка территорий ВУРСа в настоящее время не представляется угрожающей, вместе с тем локальные загрязнения почвенно-растительного покрова [8], радионуклиды в тушках мышей и полевок свидетельствуют о протекании жизнедеятельности животных в условиях радиоактивного загрязнения. Многолетнее воздействие на окружающую среду выбросов СУМЗа привело к изменению экосистемы [1] и обнаружению тяжелых металлы (Pb, Cd, Zn и др.) в органах и тушках животных [6].

Многомерный дисперсионный анализ комплекса количественных, структурных,

функциональных показателей с учетом состава крови и каждой клеточной группы в отдельных ростках кроветворения костного мозга у животных с территориями ВУРСа и СУМЗа позволил выявить различия между параметрами системы крови, зависимые в большей мере в от вида животных ( $R - Pa_{105,12} = 7.550, p < 0.000$ ), чем от фактора загрязнения среды ( $R - Pa_{35,4} = 1.634, p > 0.34$ ).

При исследовании клеточного состава костного мозга установлена изменчивость в зависимости от вида животных ( $R - Pa_{6,98} = 2.392, p < 0.03$ ), не оказывает влияния место их обитания ( $R - Pa_{3,46} = 1.786, p > 0.16$ ). При анализе отдельных ростков кроветворения отмечена лишь тенденция к изменению и в большей мере эритроидного ростка ( $p < 0.097$ ), при этом у животных с ВУРСа значения возрастают, с СУМЗа – снижаются. У рыжей полевки (СУМЗ) меньше ( $p < 0.05$ ), чем у лесной мыши и красной полевки (ВУРС) эритробластов и базофильных нормобластов (менее 40% от исходных величин), что сопровождается снижением концентрации клеток в костном мозге, числа ретикулоцитов в крови. В кровь выходят эритроциты иного состава и структуры, различимые у животных не только с разных территорий, но и с одной у разных видов (рис. 1). Так, у лесной мыши с ВУРСа увеличивается доля крупных (диаметром более 6.8 мкм), у красной полевки доля крупных (6.8–8.2 мкм) уменьшается и нарастает мелких (диаметром 3.5–5.4 мкм), в результате уменьшается средний диаметр (с 6.2 до 5.7 мкм), эритроциты меньшего объема, с меньшим содержанием гемоглобина в клетке и на единицу ее площади поверхности, что имеет связь с дыхательной функцией крови, при этом концентрация эритроцитов в крови возрастает (11.9 против 8.4 млн/мкл,  $p < 0.05$ ).

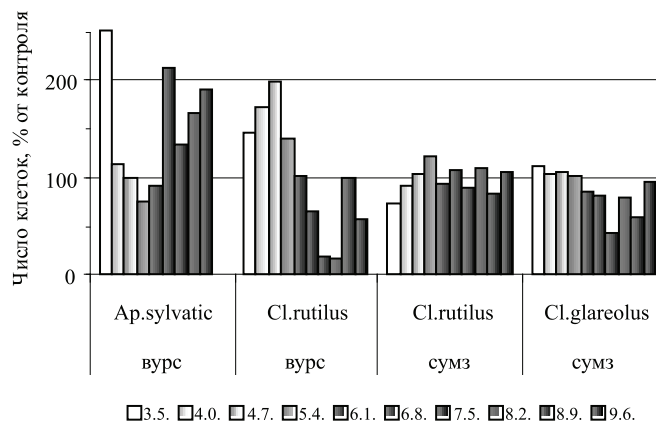


Рис. 1. Число эритроцитов в крови диаметром 3.5–9.6 мкм (слева направо) у лесной мыши и красной полевки с ВУРСа, красной полевки и рыжей полевки с СУМЗа, % от контроля

Состав и структура эритроцитов рыжей и красной полевки с СУМЗа (рис. 1) изменяется в меньшей мере чем у животных с ВУРСа: отмечена тенденция к снижению среднего диаметра эритроцита у красной полевки, у обоих видов к увеличению концентрации гемоглобина и содержания его в эритроците, последний отражает адаптивный признак к условиям измененной среды. Различается между полевками значение гематокрита ( $F_{3,39}=3.297$ ,  $p < 0.03$ ), на уровне значимости гемоглобина ( $F_{3,39}=2.681$ ,  $p < 0.06$ ).

В миелоидном ряду костного мозга изменчивость состава клеток также зависит от вида животных ( $R - Pa_{0.12,94} = 18.437$ ,

$p < 0.000$ ) (рис. 2): у красной полевки (ВУРС) состав клеток колеблется в пределах контрольных величин, снижено лишь число миелобластов, кривая гранулоцитарного ростка лесной мыши (ВУРС) повторяет таковую рыжей полевки (СУМЗ), но на более низком уровне (исключая миелобласты), при этом у полевки меньше миелоцитов ( $p < 0.02$ ), больше мегакариоцитов (в 1.8 раза), моноцитов (в 2 раза), возрастает величина лейко-эритроцитарного отношения (4.8 против 2.1), среди лейкоцитов крови возрастает число ( $p < 0.02$ ) нейтрофильных палочко- и сегментоядерных, появляются юные формы (рис. 3), что, можно полагать, направлено на усиление защитных сил организма.

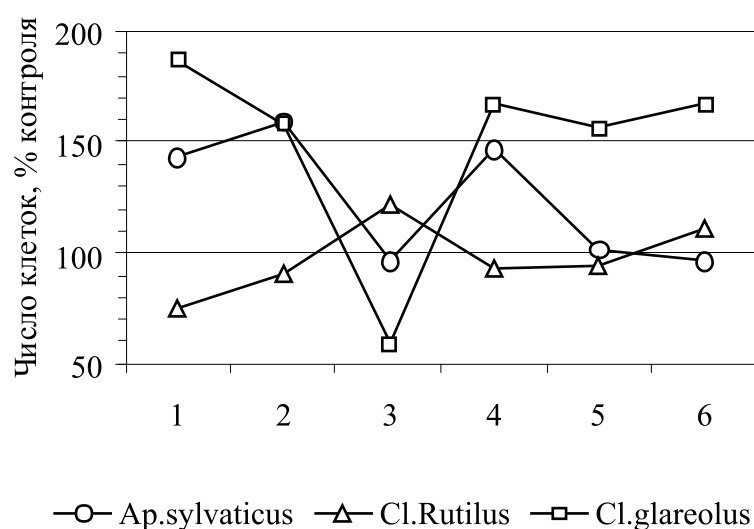


Рис. 2. Состав клеток миелоидного ряда в костном мозге лесной мыши и красной полевки с территорий ВУРСа, рыжей полевки с СУМЗа:

1 – миелобласт, 2 – промиелоцит, 3 – миелоцит, 4 – метамиелоцит, 5 – палочкоядерный, 6 – сегментоядерный

Различимую изменчивость параметров системы крови лесной мыши и красной полевки с ВУРСа можно связать с разным накоплением радионуклидов: более токсичный  $^{90}\text{Sr}$ , чем  $^{137}\text{Cs}$ , локализуясь в костной ткани и в больших количествах у красной полевки (в 2.2 раза и 1.3 раза, соответственно) в большей мере подавляет костный мозг. В процесс компенсации нарушенных функций включается усиление пролиферативной активности (у лесной мыши в 2.8 раза в эритроидном ростке, у красной полевки в 2.2 раза в эритроидном ростке и в 1.7 раза в миелоидном), ускорение созревания клеток, увеличение числа ретикулярных клеток способных регенерировать костный мозг.

Подавление эритропоэза у рыжей полевки с СУМЗа можно связать с накоплением Cd в почках (до 24.3 мкг/г сухой массы органа против 3.7) и во всей тушке (в 4.4 раза)

[6]. Содержание Cd в пище, поступающего по цепи почва–растение–животный организм, коррелировано с его содержанием в крови [10]. В эксперименте показано его прямое действие как на эритроциты крови, так и на их предшественников в кроветворных органах [9].

Различимая концентрация эритроцитов и лейкоцитов в крови у красной полевки с разных территорий (ВУРС и СУМЗ) скорее всего обусловлена величиной токсической нагрузки, а не ее природой. У особей с СУМЗа число палочко- и сегментоядерных лейкоцитов сопоставимо с показателем рыжей полевки и оно больше, чем у особей с ВУРСа (рис. 3), в составе эритроцитов у особей с СУМЗа существенных отклонений не найдено, у особей с ВУРСа кривая смещена в сторону клеток меньшего диаметра (рис. 1).

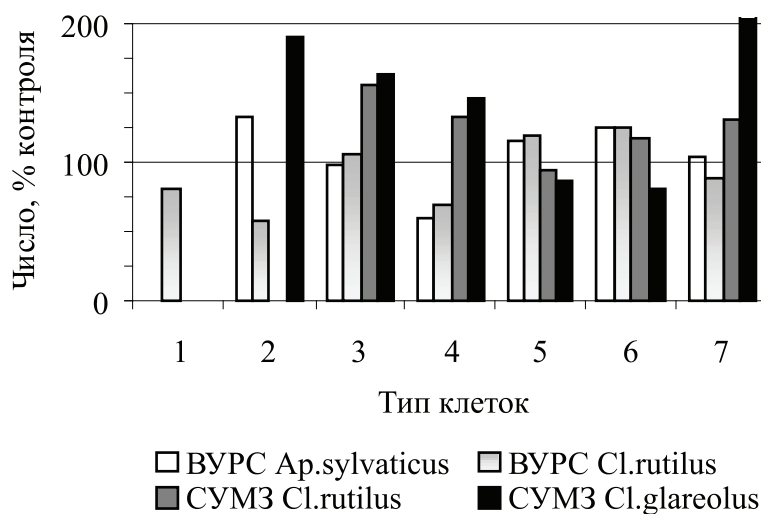


Рис. 3. Состав клеток крови лесной мыши и красной полевки с ВУРСa, красной полевки и рыжей полевки с СУМЗa:  
 1 – миелоциты, 2 – метамиелоциты, 3 – палочкоядерные, 4 – сегментоядерные, 5 – лимфоциты, 6 – эозинофильные лейкоциты, 7 – моноциты

В условиях загрязнения среды поллютантами реакция системы крови половозрелых и неполовозрелых особей не однотипна. Поддержание газотранспортной функции крови у неполовозрелых особей – резерва популяции, обусловлено продукцией потенциально короткоживущих эритроцитов с большим содержанием гемоглобина, что отражает адаптационные возможности кроветворной системы. У половозрелых увеличение диаметра и площади поверхности эритроцитов, снижение их сферичности, снижение активности системы пероксидаза–пероксид водорода лейкоцитов в крови, усиление пролиферативной активности в костном мозге можно рассматривать как напряжение в работе системы крови [6].

Результаты исследования дают основание полагать, что адаптационные программы системы крови не зависят от природы изученных факторов среды, воздействие их в малых дозах вызывает неспецифический ответ.

### Заключение

По комплексу морфофизиологических и гематологических показателей мелких млекопитающих, обитающих в условиях низко интенсивного радиационного и химического загрязнения установлена изменчи-

вость параметров системы крови. Степень изменчивости зависит от вида животных, репродуктивного состояния особей, токсической нагрузки, но не зависит от характера загрязнения, где умеренные сдвиги значений параметров носят, как правило, адаптационный характер. Поддержание гомеостаза протекает по качественному и количественному пути у животных как с территорий СУМЗa (снижение активности системы пероксидаза – эндогенная перекись водорода лейкоцитов у рыжей полевки компенсирует возросшая их концентрация), так и ВУРСa (снижение площади поверхности эритроцита и концентрации гемоглобина на ее единицу у красной полевки компенсирует большее число эритроцитов). Качественная перестройка «красной» крови состоит не только в изменении концентрации эритроцитов и гемоглобина, но и в качественной перестройке эритрона, направленной на изменение размеров, степени гемоглобинизации эритроцитов, в увеличении диффузионной поверхности клетки за счет увеличения концентрации «мелких» эритроцитов, обеспечивающих более высокую кислородную емкость крови и более эффективное обеспечение тканей кислородом.

Полученные результаты позволяют глубже понять степень реальной опасности условий загрязненной среды, где на фоне сдвига показателей системы крови мелких млекопитающих сопутствующие негативные влияния еще в большей мере угнетают кроветворную функцию, повышают смертность животных [3, 6, 7, 10].

*Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Института Сурковой Т.Ю. и Мухачевой С.В. за предоставленных животных.*

*Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН (проект № 12-П-4-1068).*

#### Список литературы

1. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
2. Кровь и экология / Козинец Г.И. и др. / М.: Практическая медицина, 2007. 432 с.
3. Кудяшева А.Г. Таскаев А.И. Адаптивные реакции процессов дегидрирования у полевки-экономки при дополнительных воздействиях физической природы // Радиация. Биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 5. С. 549–558.
4. Обнаружение ранних изменений в крови методами иммуноферментного анализа и проточной цитометрии при воздействии на организм человека малых доз ионизирующей радиации / Липатов Г.Я. и др. // Радиационная безопасность и защита населения. Екатеринбург, 1995. С. 15–17.
5. Осипов А.Н. Молекулярные и цитогенетические эффекты в клетках системы крови млекопитающих при длительном воздействии низкоинтенсивного ионизирующего излучения и тяжелых металлов: Автореф. дис. докт. биол. наук. М., 2004. 47 с.
6. Тарахтий Э.А., Мухачева С.В. Характеристика системы крови рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) в градиенте хронического химического загрязнения среды // Изв. РАН. Сер. биол. 2011. № 5. С. 603–613.
7. Тарахтий Э.А., Мухачева С.В. Реакция системы крови лесных полевок на стресс на фоне хронического химического загрязнения среды // Успехи соврем. биологии. 2011. Т. 131, № 6. С. 613–621.
8. Тетерин А.Ф. Эколого-климатические особенности зоны Восточно-Уральского радиоактивного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 368 с.
9. Тугарев А.А. Влияние кадмия на морфофункциональные характеристики эритроцитов: Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 2003. 20 с.
10. Metal blood levels and hematological characteristics in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) along a metal pollution gradient / Rogival D. et al. // Env. Tox. and Chem. 2006. Vol. 25, № 1. P. 149–157.