

Анализ микросателлитной ДНК у грызунов из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа и сопредельных территорий // Генетика. 2016. Т. 52. № 4. С. 453–460.

## ROLE OF SMALL MAMMALS' MIGRATIONS IN THE EAST URALS RADIOACTIVE TRACE ZONE FOR ASSESSING EFFECTS OF RADIATION

Grigorkina E.B., Olenov G.V.

*Institute of Plant and Animal Ecology Ural Division Russian Academy of Sciences  
620144 8 Marta str. 202, Yekaterinburg, Russian Federation*

Group marking of small mammals by two biomarkers (tetracycline and rhodamine B) at different phases of population dynamics were conducted in East Urals Radioactive Trace Zone (EURT). The absence of any isolation of populations in the zone of this radioactive trace is convincingly demonstrated. A significant positive correlation between small mammals' abundance and share of migrants is found. It was concluded that migration increases the genetic diversity of animals in adjacent areas. The need to consider the migration factor in a wide range of studies on the assessment of biological effects in the zones of local radioactive pollution is confirmed.

**Keywords:** EURT, small mammals, group marking, tetracycline, rhodamine B, migration

УДК 535.231.16:599(476.2)

## ОЦЕНКА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ КРУПНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Гулаков А.В., Дроздов Д.Н.

*УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»  
246019, г. Гомель, ул. Советская 104, Республика Беларусь  
e-mail: gulakov.andr@yandex.by*

В работе показано, что вне зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории местообитания, наблюдается высокая вариация поглощенной дозы внутреннего облучения диких животных, которая сохраняется в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Мощности поглощенной дозы внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории с различным уровнем радиоактивного загрязнения, имеют достоверные различия. Сравнительный анализ мощности поглощенной дозы внутреннего облучения у референтных видов ICRP, показал, что уровень мощности поглощенной дозы внутреннего облучения за период наблюдений либо не превышал скрининговый уровень, либо имелись единичные случаи превышения.

**Ключевые слова:** дикие млекопитающие, мышечная ткань,  $^{137}\text{Cs}$ , мощность дозы

Согласно материалам 108 публикации МКРЗ, радиационная защита не может ограничиваться исключительно безопасностью человека, в связи с чем требуется в качестве объектов защиты рассматривать биоту [1–4]. Радиологические эффекты у биоты возникают из-за путей облучения, которые не имеют аналога у человека. При этом радиационная защита биоты, как и защита человека, строится на требованиях соблюдения референтного и предельного уровня дозы облучения. Данный уровень устанавливается по ожидаемому отрицательному эффекту или затратам, которые потребуются на проведение защитных мероприятий [5]. В рамках концепция радиационной защиты в отношении биоты предложена репрезентативная выборка из 12 животных и растений. Для RAPs группы предложены референтные уровни (DCRLs) – диапазоны мощностей поглощенной дозы, в пределах которых существует вероятность вредных эффектов от ионизирующего излучения. DCRLs используются для оценки затрат на защиту окружающей среды

в разных ситуациях облучения (планируемого, аварийного, существующего) [6].

В этой связи цель работы состояла в том, чтобы оценить динамику и уровень мощности поглощенной дозы внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории радиоактивного загрязнения в постчернобыльский период, на основании данных удельной активности мышечной ткани в результате хронического поступления в организм  $^{137}\text{Cs}$ .

Оценку мощности поглощенной дозы проводили в отношении инкорпорированного  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупных млекопитающих, обитающих на территории Полесского радиационно-экологического заповедника. В качестве контроля использовались данные полученные на участках лесных массивов вблизи д. Васильево, д. Долголесье, д. Кравцовка, д. Прибор в Гомельском районе. Контрольный участок расположен в бассейне реки Днепр и его правого притока р. Сож в 100 км от Чернобыльской АЭС.

Для проведения оценки радиационного режима территории пробоотбора использовались данные плотности поверхностного загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ , на момент 1992–2009 годов и год отбора проб. Данные приведены согласно Каталогу доз облучения жителей Республики Беларусь. Средняя плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  на контрольном участке на год отбора пробы составила  $45 \pm 10$  кБк/м<sup>2</sup>, на участке зоны отселения  $440 \pm 70$  кБк/м<sup>2</sup>, на участке зоны отчуждения  $1790 \pm 200$  кБк/м<sup>2</sup>.

Отбор проб и измерение удельной активности проводился в период 1991 – 2008 год, в результате получены данные 141 особи *S. capreolus*, 93 особи изъяты на территории зоны отчуждения, 27 – зоны отселения, 21 – на контрольном участке; 117 особи *S. scrofa*, 54 особи были добыты на территории зоны отчуждения, 30 – зоны отселения, 33 – контрольном участке; 103 особей *A. alces*, 66 животных были отстреляны в зоне отчуждения, 28 особей – в зоне отселения и 9 особей – на контрольном участке. От туши брали точечные пробы мышечной ткани по  $500 \pm 50$  грамм, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах определялось на сырую, естественную массу.

Измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  проводили на  $\gamma$ - $\beta$ -спектрометре МКС-АТ1315. При оценке активности допускали, что  $^{137}\text{Cs}$  равномерно распределен в мышечной ткани и находится в условиях равновесия, а его концентрация постоянная на протяжении года.

Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения в теле наземных животных рассчитывалась в отношении  $\gamma$ -излучения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ . В расчетах использовали значения коэффициента дозового перехода в зависимости от массы животного согласно [7]. Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения от  $^{137}\text{Cs}$ , рассчитывали по формуле (1):

$$D(t) = A \times K, \quad (1)$$

где  $P(t)$  – мощность поглощенной дозы, мкГр/сутки;

$A$  – удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани, Бк/кг;

$K$  – дозовый коэффициент, равный мощности дозы, создаваемой 1 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$ , мкГр/сутки.

Референтный уровень обеспокоенности (DCRLs) крупных млекопитающих равен 0,1–1 мГр/сут, скрининговая величина первичной оценки безопасности определена на уровне 10 мкГр/ч, или  $2,4 \cdot 10^{-4}$  Гр/сут. В случае если нижняя граница облучения не превышает скринингового уровня, ситуацию можно считать безопасной. В данном случае мы использовали скрининговый уровень ( $2,4 \cdot 10^{-4}$  Гр/сут), считая, что все случаи, когда значения мощности поглощенной дозы внутреннего облучения ниже этой величины ситуация существующего облучения принимается безопасной. Все случаи превышения могут рассматриваться как потенциально опасные, в соответствии со шкалой радиационных эффектов на биоту.

Потенциально опасные мощности поглощенной дозы облучения имеют место у *S. scrofa* в течение не

только первых десяти лет после аварии, но и в отдаленный период. Максимальная величина мощности поглощенной дозы внутреннего облучения наблюдалась спустя десять лет после аварии и составляла  $2,0 \cdot 10^{-3}$  Гр/сут (в 8,3 раза больше скрининговой величины). В зоне отчуждения сохранялась высокая вероятность (более 50 %) эффектов влияющих на заболеваемость и репродуктивную систему дикого кабана. В зоне отселения и на контрольном участке не установлено превышения скрининговой величины. *S. capreolus* превышение скрининговой величины в течение периода наблюдения зарегистрировано только в зоне отчуждения – превышение в 1,6–2,6 раза. За весь период наблюдения у *A. alces* не установлено превышения DCRLs ни на одном из участков наблюдения.

В результате анализа данных установлено, что на территории с разным уровнем загрязнения наблюдаются достоверные различия вариации мощности поглощенной дозы. На контрольном участке вариация в среднем составила 37 % разброс значений – от 49 % (1991–1992 гг.) до 154 % (1999 г), в зоне отселения 106 % разброс – от 5 % (1999 г.) до 94 % (2000 г), в зоне отчуждения 127 % разброс – от 8 % (1995 г), 105 % (1997 г). *S. capreolus* на контрольном участке вариации в среднем составила 57 %, разброс значений – от 41 % до 87 %, в зоне отселения 54 % разброс значений – от 14 % (1995 г) до 117 % (1999 г), среднее значение коэффициента вариации в зоне отчуждения – 105 %, разброс значений – от 17 % (2006 г) до 194 % (1995 г). Для *A. alces* на контрольном участке вариация в среднем составила 89 %, в зоне отселения 99 %, в зоне отчуждения – 105 %, максимум вариации наблюдался в 2003–2004 годах (137–212 %).

Установлено, что между вариацией мощности поглощенной дозы и ее величиной на территориях с разной плотностью загрязнения имеет место корреляционная зависимость: чем больше плотность загрязнения территории, тем больше вариация дозы, в результате выборка становится менее однородной по дозе облучения ( $r = 0,6$ ,  $p < 0,05$ ). Согласно результатам наблюдений, эта закономерность с годами не изменяется [8]. Можно предположить, что вариация мощности поглощенной дозы связана не с фактором плотности загрязнения почвы, а с миграцией, пищевым поведением и возможностью поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм животных. Методом дисперсионного анализа установлено, что плотность загрязнения объясняет менее 25 % вариации мощности поглощенной дозы внутреннего облучения ( $p = 0,01$ ). Оставшиеся доля вариации связана с пищевой специализацией животных, а также использованием в рационе аккумуляторов  $^{137}\text{Cs}$ , таких как грибы и лишайники. В особенности это характерно для вида *S. scrofa* экология и структура питания которого тесно связаны с нижним ярусом фито-, и зооценоза, животные могут использовать также представителей ихтиофауны. Рассматривая возможность пребывания поголовья *S. scrofa* в границах зоны отчуждения и широкий ареал обитания, можно утверждать, что *S. scrofa* – это активный

аккумулятор и источник миграции чернобыльских радионуклидов на территории Европы. Экология и структура питания *S. capreolus* и *A. alces* в большей степени связана со средним ярусом лесного фитоценоза и ярусом травяных растений лугов и заброшенных сельхозугодий, для вида *A. alces* с нижним и средним ярусом прибрежно-водного фитоценоза.

В результате исследования установлено, что за период наблюдения в зоне отчуждения средняя мощность дозы внутреннего облучения *S. scrofa* составила 330 мкГр/сут, *S. capreolus* 136 мкГр/сут, *A. alces* 60 мкГр/сут. Достоверные различия средних значений поглощенной дозы установлены только для территории зоны отчуждения ( $p < 0,05$ ), на контрольном участке и в зоне отселения не установлено достоверного различия между средними значениями доз облучения исследуемых видов. Среднее значение мощности поглощенной дозы внутреннего облучения *S. scrofa* на контрольном участке, составляет ( $3,2 \pm 0,6$ ) мкГр/сут, на территории зоны отселения ( $54,9 \pm 27,9$ ) мкГр/сут, на территории зоны отчуждения – ( $330,2 \pm 113,7$ ) мкГр/сут. Среднее значение мощности поглощенной дозы внутреннего облучения *S. capreolus* на контрольном участке, составляет ( $3,7 \pm 1,4$ ) мкГр/сут, на территории зоны отселения ( $34,5 \pm 9,6$ ) мкГр/сут, на территории зоны отчуждения – ( $136,0 \pm 77,6$ ) мкГр/сут. Среднее значение мощности поглощенной дозы внутреннего облучения *A. alces* на контрольном участке, составляет ( $2,4 \pm 0,6$ ) мкГр/сут, на территории зоны отселения ( $23,5 \pm 7,8$ ) мкГр/сут, на территории зоны отчуждения – ( $60,8 \pm 9,4$ ) мкГр/сут.

Таким образом, анализ средних годовых поглощенных доз внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории ПГРЭС, показал, что в отдаленный период после аварии на ЧАЭС важным источником миграции и аккумуляции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  является вид *S. scrofa*. В ходе анализа временной динамики мощности поглощенной дозы внутреннего облучения *S. scrofa* установлено, что в течение 15 лет после аварии в зоне отчуждения сохранялась высокая вероятность слабых эффектов влияющих на заболеваемость и репродуктивную систему данного вида (более 50 %). У *S. capreolus* и *A. alces* за период наблюдений уровень мощности поглощенной дозы внутреннего облучения либо не превышает

скрининговый уровень, либо имелись единичные случаи превышения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICRP, 2008. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4–6).
2. Planel H. et al. *Paramecium aurelia* as a cellular model used for studies of the biological effects of natural ionizing radiation / Methodology for assessing impacts of radioactivity on aquatic ecosystems. IAEA Tech. rep. ser. N 190. Vienna: IAEA, 1979. P. 335–346.
3. Andersson P. et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations / PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R). 2008. 112 p.
4. Brechignac F. Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective // The Science of the Total Environment. 2003. N 307. P. 35–54.
5. Carl-Magnus Larsson. Protection of the Environment / Activities of Committee 5 Third ICRP Symposium, Seoul, Korea 20–22 October 2015 Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA Chair, ICRP Committee 5.
6. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учётом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011 // Радиация и риск. 2013. Том 22. № 1 С. 47–61.
7. Спиринов Е.В. Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49. № 5. С. 608–616.
8. Гулаков А.В., Дроздов Д.Н. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированного  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории радиоактивного загрязнения // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 4. С. 55–61.

## ESTIMATION OF THE ABSORBED DOSE OF INTERNAL RADIATION OF LARGE MAMMALS INHABITING IN THE TERRITORY OF RADIOACTIVE POLLUTION

Gulakov A.V., Drozdov D. N.

Francisk Skorina Gomel State University, 246019 Sovetskaya str.104, Gomel, Republic of Belarus

The work shows that, regardless of the level of radioactive contamination of the habitat, there is a high variation in the absorbed dose of internal irradiation of wild animals, which persists in the remote period after the Chernobyl accident. The absorbed dose rates of internal irradiation of large mammals living in areas with different levels of radioactive contamination have significant differences. Comparative analysis of radiation doses of the types recommended by the ICRP as a reference showed that the level of the absorbed dose of internal radiation for the entire observation period either did not exceed the derived reference level, or there were isolated cases of excess.

**Keywords:** wild mammals, muscle tissue,  $^{137}\text{Cs}$ , dose rate.