
РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 535.231.16:546.36*137:599.735.34(475.2)

МОЩНОСТЬ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ^{137}Cs В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЕВРОПЕЙСКОЙ КОСУЛИ, ОБИТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А. В. ГУЛАКОВ¹⁾, Д. Н. ДРОЗДОВ¹⁾

¹⁾Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

Приведены результаты оценки мощности поглощенной дозы от инкорпорированного ^{137}Cs в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории с разной плотностью радиоактивного загрязнения. Отбор проб производился в течение 1991–2007 гг. на территориях Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской обл. Контрольную выборку составили пробы, полученные на территории Гомельского р-на. Увеличение плотности загрязнения территории ^{137}Cs ведет к нелинейному росту мощности поглощенной дозы. Вне зависимости от плотности радиоактивного загрязнения, местообитания животных наблюдается высокая вариация мощности поглощенной дозы, которая сохраняется на протяжении всего периода исследований. На территории с плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs ниже 555 kBк/м^2 в течение исследования превышение уровня мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в мышечной ткани косули выше критической скрининговой величины не установлено. Обитание на данной территории косули отличается низкой вероятностью дозовых эффектов. В тоже время на

Образец цитирования:

Гулаков АВ, Дроздов ДН. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированного ^{137}Cs в мышечной ткани европейской косули, обитающей на территории радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;4:55–61.

For citation:

Gulakov AV, Drozdov DN. Internal exposure dose rate from incorporated ^{137}Cs in the muscular tissue of european roe deer, living in the territory of radioactive contamination. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;4:55–61. Russian.

Авторы:

Андрей Владимирович Гулаков – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Денис Николаевич Дроздов – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Authors:

Andrey V. Gulakov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

gulakov@gsu.by

Denis N. Drozdov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

drozdov@gsu.by

территории зоны отчуждения сохраняется вероятность флуктуаций мощности поглощенной дозы, значение которой выходит за пределы скрининговой величины, что увеличивает вероятность слабых цитогенетических эффектов, влияя на заболеваемость и репродуктивную систему животных.

Ключевые слова: европейская косуля; мышечная ткань; радиоактивное загрязнение; ^{137}Cs ; мощность дозы.

INTERNAL EXPOSURE DOSE RATE FROM INCORPORATED ^{137}Cs IN THE MUSCULAR TISSUE OF EUROPEAN ROE DEER, LIVING IN THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A. V. GULAKOV^a, D. N. DROZDOV^a

^aFrancisk Skorina Gomel State University,
104 Saveckaja Street, Gomel 246019, Belarus
Corresponding author: A. V. Gulakov (gulakov@gsu.by)

The paper presents the results of estimating the absorbed dose rate from incorporated ^{137}Cs in the muscle tissue of European roe deer living in territories with different densities of radioactive contamination. Sampling was carried out during 1991–2007 in the territories of Bragin, Narovlyansky and Khoyniksky districts, Gomel region. The control sample consisted of samples obtained in the Gomel region. An increase of the ^{137}Cs contamination density leads to a nonlinear increase in the absorbed dose rate. Regardless the density of radioactive contamination of animal habitats, there is a high variation in the absorbed dose rate, which persists throughout the entire period of research. In the territory with a radioactive contamination density of ^{137}Cs below 555 kBq/m² during the observation period, no excess of the absorbed dose rate of internal radiation in the muscle tissue of roe deer above the critical screening value was found. Roe deer inhabit this territory with a low probability of dose effects. At the same time, the probability of fluctuations in the absorbed dose rate remains in the exclusion zone, the value of which goes beyond the screening value, which increases the probability of weak cytogenetic effects, affects the morbidity and reproductive system of animals.

Key words: european roe deer; muscle tissue; radioactive contamination; ^{137}Cs ; dose rate.

Введение

Развитие современной концепции радиационной безопасности ставит ряд актуальных задач, в том числе исследование радиоэкологии разных видов биоты, обитающих в условиях хронического внешнего и внутреннего облучения. Согласно декларированной рекомендации МКРЗ (2007 г.) и Публикации 108 МКРЗ (2008 г.) «Защита окружающей среды: концепция референтных животных и растений» [1], современная концепция радиационной защиты не может ограничиваться только безопасностью человека.

В рамках концепции рассматривается переход от антропоцентрического к экоцентрическому подходу, который достаточно подробно изложен в 108 Публикации МКРЗ и аргументирован в научных работах F. Brechignac [2], D. Delistraty [3], R. J. Pentreath, [4], P. M. Алексахин, С. В. Фесенко [5]. Согласно данному подходу, радиологические эффекты биоты могут возникать из-за путей облучения, не имеющих аналогов для человека. При этом радиационная защита биоты, как и защита человека, строится на требовании соблюдения референтного и предельного уровня дозы облучения. Он устанавливается по ожидаемому отрицательному эффекту или затратам, которые потребуются на проведение защитных мероприятий [6].

В соответствии с концепцией о референтных животных и растениях (*Reference Animals and Plants* – RAPs), предложена репрезентативная выборка из 12 животных и растений, обитающих в различных средах. Набор из 12 RAPs составлен на основании таксономической общности «семейство», так как на этом уровне радиобиологический отклик можно считать относительно постоянным. Предложены производные референтные уровни (*Derived Consideration Reference Levels* – DCRLs), характерные для каждого семейства RAPs, которые представляют диапазон мощностей поглощенной дозы, в пределах которого существует некоторая вероятность вредных эффектов от ионизирующего излучения. DCRLs могут быть использованы в качестве справочных значений при оценке затрат на защиту окружающей среды в различных ситуациях облучения (планируемой, аварийной, существующей) [7].

В докладе С.-М. Larsson для семейства *Cervidae* и так называемой группы крупных млекопитающих DCRLs был определен как 0,1–1 мГр/сут [8]. В рамках европейского проекта PROTECT 2000–2008 гг. предложено распределение чувствительности видов – SSDs (*species sensitivity distribution*) и определены

величины безопасного порога облучения биоты. Для животных скрининговая величина, предназначенная для первичной оценки безопасности биоты, 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 [9].

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (далее – заповедник) представляется уникальной территорией, где разные представители флоры и фауны испытывают действие ионизирующего излучения от выпадения чернобыльских радионуклидов. В отдаленный период аварии основными источниками радиоактивного излучения являются ^{137}Cs и ^{90}Sr [9]. Поступление и накопление данных радионуклидов в организме животных в естественной среде происходит без каких-либо ограничений и может влиять на формирование доз облучения выше предельного уровня. В этой связи виды фауны могут служить источником информации для уточнения скрининговых или предельных доз облучения.

Второй по численности среди крупных млекопитающих, обитающих на территории заповедника, является европейская косуля (*Capreolus capreolus* L.). Вид *C. capreolus* принадлежит к семейству оленевые (Cervidae) и является репрезентативным организмом, который включен в перечень референтных животных RAPS ICPR 2008. Фактическая численность вида в лесах Беларуси, согласно работе [10], на момент 2016 г. составляла 82,1 тыс. особей, средняя плотность популяции оценивается в 7,5–8,4 особи /1000 га лесных угодий. *C. capreolus* является одним из самых многочисленных и добываемых видов диких копытных в Беларуси. По данным авиационного учета [11], на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в феврале 2017 г. численность *C. capreolus* составила 300 особей. Общая численность оценивается в 2–3 тыс. особей.

Максимальная численность косуль обитает в широколиственных лесах с хорошо развитым подлеском, где животные полностью освоили бывшие сельскохозяйственные угодья, в результате чего стал формироваться полевой экотип вида [12]. Косули Беларуси относятся к некрупному подвиду, масса тела которого в среднем составляет 32–33 кг. Питаются животные травянистой растительностью, листьями, побегам и плодами древесно-кустарниковых пород, грибами и лишайниками. В летний период предпочтение отдается травам следующих семейств: Onagraceae (кипрей), Rosaceae (гравилат), Ariaceae (сныть, дудник), Asteraceae (тысячелистник), плодам черники и брусники. Зимой косули поедают иву, бересклет, дуб, осину, рябину, крушину, чернику, вереск. Весной, до появления первой листвы на деревьях и кустарниках, звери питаются травами, поедают в больших количествах проростки пролесок, ветрениц, прострелов, сон-травы, осок и злаков. За сутки взрослое животное съедает до 3–4 кг корма летом и 2–2,5 кг зимой [13]. Из приведенных данных следует, что экология косули и структура питания тесно связаны со средним ярусом лесного фитоценоза, травяных растений лугов и заброшенных сельхозугодий.

Оценка доз внутреннего облучения референтных организмов является особенно актуальной задачей для ситуаций, когда произошло радиоактивное загрязнение территорий. Следует отметить, что в условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника *C. capreolus* находится в ситуации существующего облучения, где, согласно мощности дозы референтного диапазона, требуется дополнительный анализ [1].

Цель исследования: оценить уровень и динамику мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в постчернобыльский период на основании данных удельной активности мышечной ткани животных, сформированной в результате хронического поступления в организм ^{137}Cs .

Материалы и методы исследования

Объект исследований – европейская косуля (*Capreolus capreolus* L.), обитающая на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. Добыча животных и взятие проб производилось в пределах междуречья Припяти и Днепра на территории Хойникского и Брагинского районов, а также на территории Гомельского р-на (рис. 1).

Как следует из рис. 1, места отбора проб для определения удельной активности инкорпорированного ^{137}Cs в организме *C. capreolus* охватили три пробных участка, расположенных на территории зоны отчуждения (ППЗ_{>555} более 555 кБк/м²), территория зоны отселения (ППЗ₃₇₋₅₅₅ от 185 до 555 кБк/м²) и контрольный участок (ППЗ_{<37} – до 37,0 кБк/м²). Территория зоны отчуждения, где плотность поверхностного загрязнения превышает 555 кБк/м² – это лесные массивы вблизи таких бывших населенных пунктов, как д. Борщевка, д. Молочки, д. Погонное, д. Оревичи Хойникского р-на, территория зоны отселения – лесные массивы вблизи населенных пунктов д. Жердное, д. Пучин, д. Савичи Брагинского р-на. Территория исследования расположена в междуречье Припяти и Днепра на расстоянии 10–35 км от Чернобыльской АЭС. В качестве контроля использовались данные, полученные вблизи д. Васильево, д. Долголесье, д. Кравцовка, д. Прибор, на территории Гомельского р-на. Контрольный участок расположен в бассейне р. Днепр и его правого притока р. Сож, в 100 км от Чернобыльской АЭС (ППЗ территории ^{137}Cs составляет до 37,0 кБк/м²).

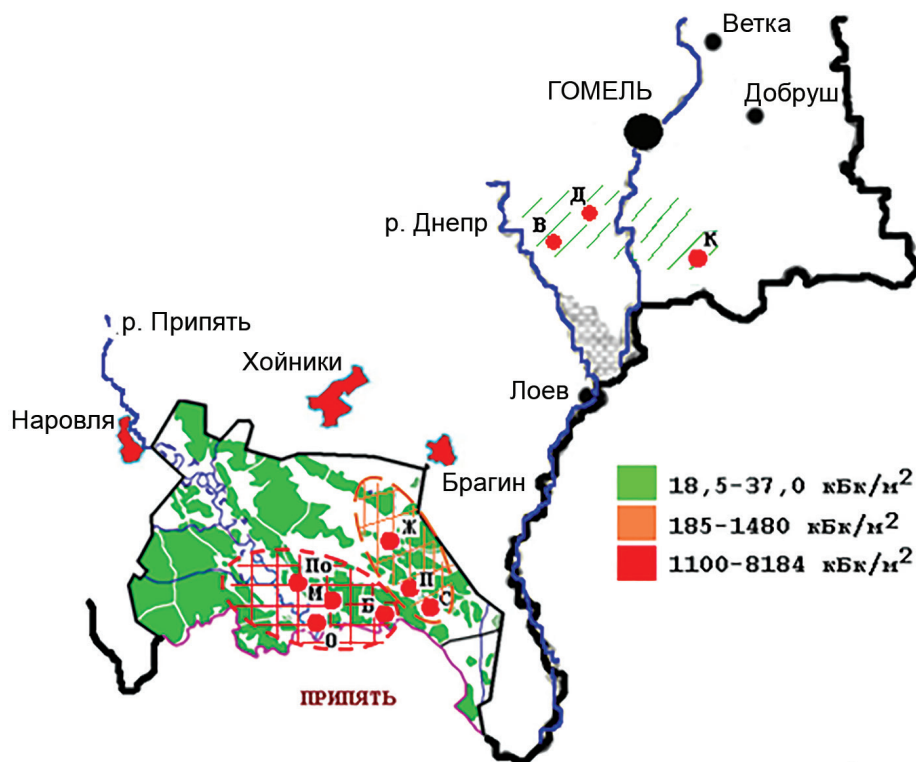


Рис. 1. Места отбора проб

Fig. 1. Sampling locations

Исследования проводились в течение 1991–2007 гг., пробы взяты от 141 особей *C. capreolus*, среди которых 93 особи изъяты из зоны отчуждения, 27 – из зоны отселения и 21 – из контрольного района. Для отбора проб использовали взрослых особей (средняя масса пробы мышечной ткани от животного составляла 500 ± 50 г). Содержание ^{137}Cs в пробах *C. capreolus* определялось на сырую, естественную массу.

Измерения удельной активности ^{137}Cs в органах и тканях диких животных выполняли на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (минимальная измеряемая активность не менее 2 Бк/кг в геометрии 0,5 л (Маринелли), эффективность регистрации на энергии 661 кэВ – $2,46 \times 10^{-2}$ имп/квант, энергетический диапазон регистрируемого γ -излучения от 50 до 3000 кэВ) и гамма-радиометре РКГ-АТ1320А (минимальная измеряемая активность – 3,7 Бк/кг, эффективность регистрации – $2,2 \times 10^{-2}$ имп/квант). Погрешность измерений не превышала 15 %, разница в показаниях приборов (спектрометра и радиометра) при повторных измерениях не превышала 4 %.

Оценку мощности поглощенной дозы внутреннего облучения у *C. capreolus* проводили от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs . При оценке допускали, что ^{137}Cs равномерно распределен в мышечной ткани и находится в условиях равновесия, а его концентрация постоянная на протяжении года.

Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения, обусловленного инкорпорированным ^{137}Cs , рассчитывали по формуле:

$$D(t) = A \times K, \text{ где} \quad (1)$$

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

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

K – дозовый коэффициент, равный мощности дозы, создаваемой 1 Бк/кг ^{137}Cs , составляет $5,78 \times 10^{-3}$ мкГр/сутки [14].

Результаты исследования и их обсуждение

На основании данных удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани *C. capreolus* и дозиметрических расчетов были получены значения средней мощности поглощенной дозы внутреннего облучения. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что мощность дозы внутреннего облучения у животных, которые были отстреляны на территории с разным уровнем радиоактивного загрязнения, имеет

достоверное различие ($\alpha < 0,05$). С переходом от одной зоны к другой кратность различия возрастает на один порядок величины.

Среднее значение мощности поглощенной дозы в мышечной ткани *C. capreolus*, добытых на контрольной территории ППЗ_{<37}, составило $3,7 \pm 1,1$ мкГр/сут, в зоне отселения ППЗ₃₇₋₅₅₅ – $39,3 \pm 12,0$ мкГр/сут, в зоне отчуждения ППЗ_{>555} – $127,9 \pm 82,6$ мкГр/сут. Таким образом, с увеличением ППЗ наблюдается нелинейный рост мощности поглощенной дозы внутреннего облучения. Динамика роста мощности поглощенной дозы (y , мкГр/сут) представлена экспонентой следующего вида:

$$y = 6 \times \exp(0,008x), \quad (2)$$

где x – плотность поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs на момент добычи животного, кБк/м².

Вариация мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs у *C. capreolus*, отстрелянных на территориях с разным уровнем ППЗ, значительно различается. В контрольном районе среднее значение коэффициента вариации составило 57 %, причем для этой территории наблюдается минимальный разброс значений – от 41 % до 87 %, максимальная вариация наблюдалась в 1994 г. В зоне отселения среднее значение коэффициента вариации составило 54 %, а 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.). Следует отметить, что между показателями вариации мощности поглощенной дозы и величиной дозы на территории с разной плотностью загрязнения имеет место корреляция средней силы ($r = -0,5$), однако с годами исследований данное значение существенно не изменилось.

Таблица 1

Динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения
от инкорпорированного в мышечной ткани *C. capreolus* ^{137}Cs , мкГр/сут.

Table 1

The dynamics of the absorbed dose rate of internal radiation from *C. capreolus* ^{137}Cs incorporated in muscle tissue, $\mu\text{Gy} / \text{day}$

| Год | Контроль (ППЗ _{<37} кБк/м ²) | Зона отселения (ППЗ ₃₇₋₅₅₅ кБк/м ²) | Зона отчуждения (ППЗ _{>555} кБк/м ²) |
|------|--|--|--|
| 1991 | – | – | 80,4±16,8 (66) |
| 1992 | – | – | 81,2±36,6 (143) |
| 1993 | 4,0±1,1 (48) | – | 28,2 |
| 1994 | 0,2±0,1 (87) | 48,7±7,4 (26) | 615,9±43,0 (22) |
| 1995 | 1,7±0,5 (51) | 24,5±2,0 | 95,3±58,5 (194) |
| 1996 | 1,1±0,3(47) | 67,2±19,7 (51) | 123,1 |
| 1997 | 4,3±1,5 (60) | 62,0±11,2 (31) | 175,1±87,3 (158) |
| 1998 | 9,7±2,4 (43) | 16,8±8,8 (91) | 36,0±8,6 (76) |
| 1999 | 2,7±1,3 (83) | 49,3±33,4 (117) | 13,5±8,0 (187) |
| 2000 | 4,6±1,1 (41) | 23,7±4,0 (29) | 43,3±21,0 (153) |
| 2001 | – | – | 43,3±14,7 (83) |
| 2002 | – | – | 151,2±83,2 (117) |
| 2003 | 5,4±1,5(48) | 22,5±9,4 (72) | 76,2±26,9 (112) |
| 2004 | – | – | 25,4±5,2 (65) |
| 2006 | – | – | 381,1±20,2 (17) |
| 2007 | – | – | 76,6±56,2 (23) |

Примечание. * – коэффициент вариации, %

Отсутствие однородных выборочных данных может свидетельствовать о том, что накопление ^{137}Cs и формирование дозы облучения происходит неравномерно и зависит не только от плотности поверхностного загрязнения территории. Сила влияния фактора плотности поверхностного загрязнения на

формирование мощности поглощенной дозы оценивается в 21 % ($p = 0,03$). Оставшиеся 79 % вариации значений дозы облучения, возможно, связаны с миграцией животных и участием в их трофической цепи аккумуляторов радионуклидов ^{137}Cs (например, грибов или лишайников). На рис. 2 представлена динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения.

Из рис. 2 следует, что за период наблюдений на контрольной территории и территории зоны отселения, значение мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от инкорпорированного в мышечной ткани ^{137}Cs не превысило скрининговой величины. Максимальное значение дозы облучения в зоне отселения составило $67,2 \pm 19,7$ мкГр/сут (1996 г.), что в 3,5 раза ниже скрининговой величины. Максимальное значение дозы облучения на контрольной территории составило $9,7 \pm 2,4$ мкГр/сут (1998 г.), а это в 2,5 раза ниже скрининговой величины. На территории зоны отчуждения на протяжении всего периода наблюдения имели место два выраженных всплеска мощности поглощенной дозы: первый всплеск приходился на 1994 г. и составил $615,9 \pm 43,0$ мкГр/сут, второй – на 2006 г. – $381,1 \pm 20,2$ мкГр/сут. В обоих случаях значения мощности поглощенной дозы превышают скрининговую величину, что свидетельствует об увеличении вероятности дозовых эффектов в этот период времени.

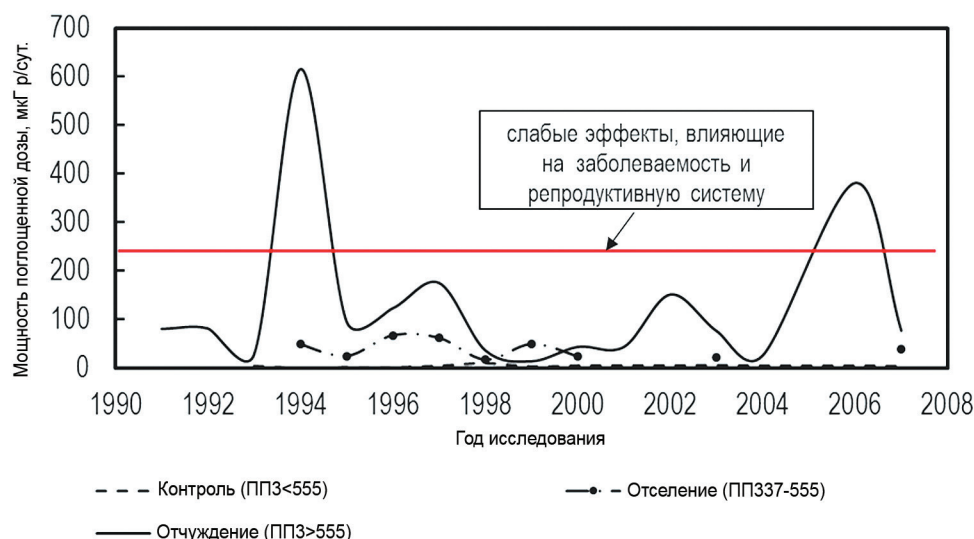


Рис. 2. Динамика мощности поглощенной дозы внутреннего облучения от ^{137}Cs , инкорпорированного в мышечной ткани *C. capreolus*.

Fig. 2. Dynamics of the absorbed dose rate of internal radiation from ^{137}Cs incorporated into muscle tissue *C. capreolus*

Заключение

Таким образом, на территории с ППЗ ^{137}Cs ниже 555 kBк/м^2 в течение всего периода наблюдения не установлено превышение уровня мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в мышечной ткани *C. capreolus* выше критической скрининговой величины. Обитание на этой территории *C. capreolus* отличается низкой вероятностью дозовых эффектов, которые могли бы повлиять на заболеваемость и репродуктивную систему животных. Однако на территории зоны отчуждения сохраняется вероятность флуктуаций мощности поглощенной дозы, значение которой выходит за пределы скрининговой величины, что увеличивает вероятность слабых цитогенетических эффектов и влияет на заболеваемость и репродуктивную систему животных.

Библиографические ссылки

1. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. *Annals of the ICRP. ICRP Publication 108*. 2008;38(4–6).
2. Brechignac F. Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective. *The Science of the Total Environment*. 2003;307:35–54.
3. Delistraty D. Radioprotection of nonhuman biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008; 99:1863–1869.
4. Pentreath RJ. Ethics, genetics and dynamics: an emerging systematic approach to radiation protection of the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2004;74:19–30.
5. Алексахин РМ. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и эоцентрический принципы. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2004;44(1):93–103.
6. Малиновский ГП. Оценка доз внутреннего облучения мышевидных грызунов за счет Sr-90 [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2014.

7. Савкин МН, Ведерникова МВ, Панченко СВ. Взаимное влияние объектов живой природы и пунктов захоронения радиоактивных отходов: экологическая и техническая безопасность. *Радиоактивные отходы*. 2018;3(4):30–38.
8. Larsson C-M. Protection of the Environment. In: *Activities of Committee 5 3rd International Symposium on the System of Radiological Protection; 2015 October 20–22; Seoul, Korea*. Venue; Seoul: ICRP, KARP; 2015. 14 p.
9. Andersson P, Beaugelin-Seiller K, Beresford NA, et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. In: *PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R)*. 2008. 112 p.
10. Рожко АВ, Власов ОК, Чунихин ЛА, Дроздов ДН. СИЧ-ориентированный метод оценки годовых доз внутреннего облучения населения в отдаленный период Чернобыльской аварии. *Радиация и риск. Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра*. 2009;18(2):48–60.
11. Козорез АИ. Ресурсы оленьих Беларуси. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2014;11:42–47.
12. Дунин ВФ, Воронетский НН, Тишкевич ВЕ, Елиашевич НВ, Пискунов ВС, Парейко ОА, Киреенко КМ. Лось и козуля. В: Пикунлик, редактор. *Природа Полесского заповедника*. Мозырь: Белый ветер; 1999. 80 с.
13. Воронетский НН, Дунин ВФ, Пискунов ВС, Киреенко КМ. Численность и биотопическое распределение диких животных в Полесском радиационно-экологическом заповеднике. В: *Биологическое разнообразие Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий. Сборник научных трудов, посвященный 30-летию Национального парка «Припятский» (1969–1999)*. Туров–Мозырь: [б. н.]; 1999, с. 312–315.
14. Спирин ЕВ. Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009;49(5): 608–616.

References

1. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. *Annals of the ICRP. ICRP Publication 108*. 2008;38(4–6).
2. Brechignac F. Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective. *The Science of the Total Environment*. 2003;307:35–54.
3. Delistraty D. Radioprotection of nonhuman biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008;99:1863–1869.
4. Pentreath RJ. Ethics, genetics and dynamics: an emerging systematic approach to radiation protection of the environment. *Journal Environment Radioactivity*. 2004;74:19–30.
5. Aleksahin PM. *Radiatsionnaya zashchita okruzhajushchey sredy: antropotsentricheskij i ekotsentricheskij printsipy* [Environmental radiation protection: anthropocentric and ecocentric principles]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiological biology. Radioecology]. 2004;44(1):93–103. Russian.
6. Malinovskij GP. *Otsenka doz vnutrennego obluchenija myshevidnykh gryzunov za schet Sr-90* [Evaluation of the doses of internal irradiation of mouse rodents due to Sr-90]. [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown]; 2014. Russian.
7. Savkin MN, Vedernikova MV, Panchenko SV. *Vzaimnoe vlijanie otkhodov zhivoy prirody i punktov zakhoronenijaradioaktivnykh otkhodov: ekologicheskaja i tekhnicheskajan bezopasnost'* [Mutual influence of wildlife and radioactive waste disposal sites: environmental and technical safety]. *Radioaktivnye otkhody* [Radioactive waste] 2018;3(4):30–38. Russian.
8. Larsson C-M. Protection of the Environment. In: *Activities of 5 Committee 3rd International Symposium on the System of Radiological Protection; 2015 October 20–22; Seoul, Korea*. Venue; Seoul: ICRP, KARP; 2015. 14 p.
9. Andersson P, Beaugelin-Seiller K, Beresford NA, et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. In: *PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R)*. 2008. 112 p.
10. Rozhko AV, Vlasov OK, Chunihin LA, Drozdov DN. *SICH-orientirovannyj metod otsenki doz vnutrennego obluchenija naselenija v otdalennyj period Chernobyl'skoy avaryi* [WMS-based method for estimating annual doses of internal exposure to the population during the remote period of the Chernobyl accident]. *Radiaciya i risk. Byulleten' Nacional'nogo radiacionno-epidemiologicheskogo registra* [Radiation and risk]. 2009;18(2):48–60. Russian.
11. Kozorez AI. *Resursy olen'ikh v Belarusi* [Reindeer Resources of Belarus]. *Lesnoe i okhotnich'e khozyajstvo* [Forest and hunting]. 2014;11:42–47. Russian.
12. Dunin VF, Voronetskij NN, Tishkevich VE, Eliashevuch NV, Piskunov VS, Parejko OA, Kireenko KM. *Los' i kosulya* [Elk and Roe Deer]. In: Pikulik MM, editor. *Priroda Polesskogo zapovednika* [Nature of Polesky reserve]. Mозырь: Belyj veter; 1999. 80 p. Russian.
13. Voroneckij NN, Dunin VF, Piskunov VS, Kireenko KM. *Chislennost' i biotopicheskoe raspredeleniedikikh zhivotnykh v Polesskom radiatsionno-ekologicheskom zapovednike* [The abundance and biotopic distribution of wild animals in the Polesky Radiation-Ecological Reserve. In: *Biologicheskoe raznoobrazie Natsional'nogo parka «Pripyatskij» i drugikh osobo okhranaemykh territoriy. Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennykh 30-letiyu Nacional'nogo parka «Pripyatskij» (1969–1999)* [Biological diversity of the Pripyatsky National Park and other specially protected natural areas]. Туров–Мозырь: [publisher unknown]; 1999. p. 312–315. Russian.
14. Spirin EV. *Metod rascheta doz obluchenija zhivotnykh dla otsenki posledstviyazagraznenija okruzhajushchey sredy* [Method for calculating animal radiation doses for assessing the effects of environmental pollution]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. [Radiological biology. Radioecology]. 2009;49(5):608–616. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.09.2019.
Received by editorial board 11.09.2019.