

УДК 535.231.16:599.731.1(476.2)

Половозрастная динамика поглощенной дозы облучения дикого кабана, обитающего на территории радиоактивного загрязнения

А.В. Гулаков, Д.Н. Дроздов

Показано, что вариация доз облучения дикого кабана в значительной степени зависит от индивидуальной активности животного. Такие факторы, как плотность радиоактивного загрязнения, возраст и пол животных позволяют оценить менее половины вариации дозы облучения; их использование для оценки неопределенности и прогноза возможно только в сочетании. Одним из важных факторов является пол животного, поскольку поведения самцов и самок в разные сезоны года имеют различия, которые обуславливают площадь миграции, величину и характер кормовых участков, и, как следствие, структуру кормового рациона животных.

Ключевые слова: дикий кабан, мощность дозы, цезий-137, стронций-90, мышечная ткань, костная ткань.

It is shown that the variation of doses of irradiation of wild boar largely depends on the individual activity of the animal. The factors such as the density of radioactive contamination, the age and sex of the animals make it possible to estimate less than half of the variation in radiation dose; their use for uncertainty assessment and forecasting is possible only in combination. One of the important factors is the sex of the animal, since the behavior of males and females in different seasons of the year have differences, which determine the area of migration, the size and nature of the feeding areas, and, as a result, the structure of the animal's diet.

Keywords: wild boar, dose rate, cesium-137, strontium-90, muscle tissue, bone tissue.

Введение. В настоящее время проблемы охраны природной среды и рационального использования биологических ресурсов во всем мире привлекают особое внимание. В процессе эксплуатации объектов атомной энергетики, а также при различных радиационных авариях увеличивается вероятность поступления техногенных радионуклидов в различные компоненты биосферы [1].

Катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции является самой крупной по масштабам и нанесенному ущербу за всю историю развития атомной энергетики на планете. В результате аварии образовались значительные территории с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Загрязнение радиоиотопами естественных как сухопутных, так и водных биогеоценозов рассматривается как новый абиотический фактор окружающей среды.

Данным обстоятельством была продиктована необходимость проведения глобальных радиоэкологических и радиобиологических исследований по изучению закономерностей миграции техногенных радионуклидов в биосфере и действию ионизирующей радиации на живые организмы в их естественной среде обитания [2], [3].

Ионизирующая радиация является постоянно действующим фактором внешней среды, значимость которого постоянно возрастает, что требует изучения процессов взаимодействия живых организмов друг с другом и со средой их обитания в условиях радиоактивного загрязнения и повышенного радиационного фона [4]. Для современной радиоэкологии данная проблема сохраняет свою актуальность [5].

Поэтому исследование особенностей накопления и распределения радионуклидов, выявление видовых, половых, возрастных и сезонных различий в концентрировании радионуклидов в организме диких животных, обитающих в загрязненном биогеоценозе, представляет большой как научный, так и практический интерес.

Объект и методы исследований. Объектом исследований являлся дикий кабан, длительное время обитающий на территории с различным уровнем радиоактивного загрязнения.

Наиболее загрязненными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr участками зоны отчуждения, в границах которых производилось изъятие дикого кабана, была территория междуречья При-

пяти и Днепра, расположенная на расстоянии 10–35 км от ЧАЭС. В границах этой территории находятся населенные пункты: д. Борщевка, д. Молочки, д. Погонное, д. Радин, д. Дроньки; уровень загрязнения территории ^{137}Cs составлял 1100–8184 кБк/м², ^{90}Sr 185–1633 кБк/м².

В зоне отчуждения добычу дикого кабана проводили на расстоянии 30 – 35 км от ЧАЭС, в окрестностях населенных пунктов д. Савичи, д. Жердное, плотность загрязнения ^{137}Cs 185–1480 кБк/м², ^{90}Sr 74–420 кБк/м². Полученный материал позволил провести анализ факторов формирования и вариацию дозы облучения дикого кабана, обитающего на территории Полесского радиационно-экологического заповедника.

Изъятие тканей дикого кабана и проб почвы проводили в период с 1992 по 2008 гг., в границах обозначенных территорий, которые показаны на рисунке 1.

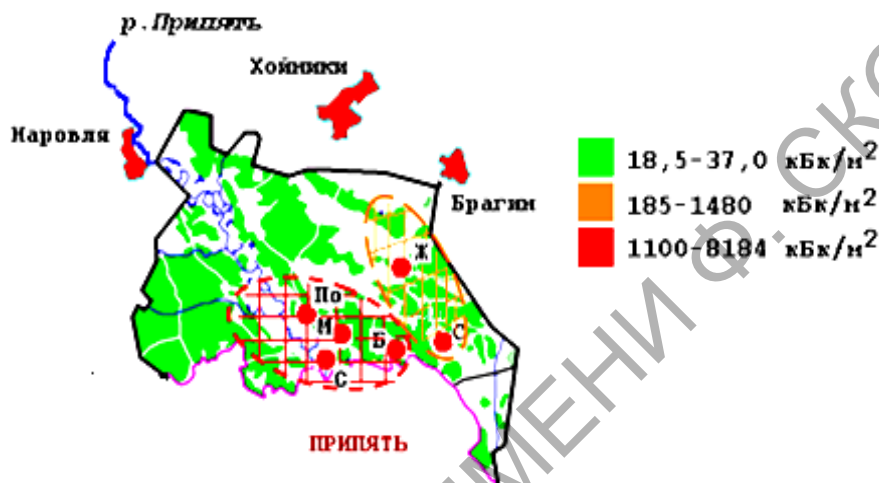


Рисунок 1 – Территория проведения исследований

Территория покрыта широколиственным и сосново-лиственным лесом с густым подростом и подростом, березовыми рощами и дубравами. По данным Полесского радиационно-экологического заповедника, насчитывается 2200 особи дикого кабана, плотность населения 10,2 особи на 1000 га. Основные места обитания различаются по сезонам: весной – это лиственный лес, зарастающая пашня и мелиоративная система; летом – бывшие сельскохозяйственные угодья, участки отселенных населенных пунктов; осенью – дубрава, зимой – смешанный хвойно-лиственный лес и сельскохозяйственные угодья.

Мощность дозы облучения складывается из дозы внешнего облучения (D_{ext}) от γ -излучающих радионуклидов, содержащихся в среде обитания (почве, воде, воздухе) и дозы внутреннего облучения (D_{int}) от радионуклидов, инкорпорированных в органах и тканях. В отдаленный период аварии на ЧАЭС доза внешнего облучения наземных позвоночных, которые обитают на территории Полесского радиационно-экологического заповедника, зависит от γ -излучения радионуклидов ^{137}Cs . Поглощенная доза облучения от поверхности почвы загрязненной радионуклидами ^{137}Cs рассчитывалась по формуле:

$$D_{\text{ext}} = \sigma \cdot K_{\gamma}, \quad (1)$$

где σ – плотность поверхностного загрязнения территории, Бк/м²; K_{γ} – дозовый фактор конверсии (коэффициент перехода «поверхностная активность – мощность дозы») при облучении от поверхности почвы, (мкГр/сут)/(Бк/м²) [6].

Для определения дозового коэффициента перехода от плотности поверхностного загрязнения ^{137}Cs к мощности поглощенной дозы внешнего облучения использовали регрессионную функцию вида:

$$K_{\gamma} = -4 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(m) + 3 \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где m – масса тела животного, кг.

Оценку дозы внутреннего облучения проводили в отношении инкорпорированного ^{137}Cs в мышечной и ^{90}Sr в костной ткани дикого кабана. При оценке допускали, что радио-

нуклиды равномерно распределены в ткани и находятся в условиях равновесия, на протяжении года концентрация радионуклидов сохраняется постоянной. Коэффициенты дозовой конверсии определили в соответствии с данными рекомендаций [6]–[8] для наземных животных, исходя из значений массы тела животного, масса самцов 320–450 кг, самок 275–375 кг. Мощность поглощенной дозы рассчитывали по формуле:

$$D_{\text{int}} = A \cdot K, \quad (3)$$

где D_{int} – 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 [9].

Дозовый коэффициент перехода от активности ^{90}Sr в костной ткани, согласно работе [6], равен $2,7 \cdot 10^{-3}$. Для определения дозового коэффициента перехода от активности инкорпорированного радионуклида ^{137}Cs к мощности поглощенной дозы внутреннего облучения использовали регрессионную функцию вида:

$$K = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(m) + 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где m – масса тела животного, кг.

В связи с тем, что диких кабанов делят на определенные возрастные классы, которые учитывают массу животного, высоту в холке и число Брандта. Последнее определяли, как отношение измеренного диаметра клыка у основания и у начала шлифа. Для возрастной градации принимали следующую схему: сеголетки ~2 (до 1 года), подсвинки 1,6 (от 1 года до 2-х лет), кабаны двухлетки 1,5 (2–3 года), средне-возрастные кабаны 1,2 (3–5 лет), кабаны старшего возраста 1,01 (старше 5 лет).

Для проведения анализа данных использовали методы регрессионного анализа, параметрической и непараметрической статистики. Сравнительный анализ данных поглощенных доз облучения дикого кабана, изъятого на территории с разной плотностью загрязнения, проводили с помощью критерия Манна-Уитни. Для оценки влияния факторов на вариацию дозы облучения дикого кабана использовался двухфакторный дисперсионный анализ. Статистическая обработка данных проводилась с помощью прикладной программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. В соответствии с характеристиками возрастных классов была сформирована таблица 1, где указаны дозы облучения животных разных возрастных классов.

Анализ квартильных размахов показал, что максимальная вариация наблюдается среди значений поглощенной дозы внутреннего облучения инкорпорированного ^{137}Cs и ^{90}Sr . Относительное квартильное отклонение принимает максимальные значение в возрастной группе кабаны двухлетки и у кабанов среднего возраста.

Таблица 1 – Возрастная динамика поглощённой дозы облучения дикого кабана, мкГр/сут

| Возраст | Доза внешнего облучения (^{137}Cs) | Доза внутреннего облучения (^{137}Cs) | Доза внутреннего облучения (^{90}Sr) | Суммарная доза |
|--------------------------|---|--|---|------------------------|
| Сеголетки | 514,0 (480,0–544,0)* | 169,3 (79,8–274,8) | 34,6 (9,7–62,0) | 630,8 (569,5–690,2) |
| Подсвинки | 73,0 (73,0–82,0) | 466,2 (82,5–790,8) | 84,9 (30,5–101,3) | 569,8 (543,3–948,8) |
| Кабаны двухлетки | 278,5 (263,0–305,5) | 82,3 (38,2–262,3) | 36,8 (34,2–52,2) | 421,5 (341,5–595) |
| Средне-возрастные кабаны | 96,0 (78,3–102,5) | 67,7 (27,0–169,9) | 29,6 (13,4–49,1) | 184,4 (134,4–324,5) |
| Кабаны старшего возраста | 102,0 (100,0–105,5) | 146,5 (106,7–173,5) | 57,9 (57,7–66,5) | 311,6 (269,9–335,9) |

* – квартильный размах.

Разброс значений в этой группе в среднем составляет 107 %. Несколько меньшая вариация значений наблюдается у молодых животных, в среднем у сеголеток и подсвинков значений дозы облучения составляет 80 %. Минимальная вариация значений дозы наблюдается в отношении внешнего облучения у старых животных. Разброс значений в этой группе в среднем составляет 22 %.

Анализ значений суммарной дозы облучения животных разных возрастных классов показывает, что наибольшие значения доз наблюдается у молодых животных, которые не достигли репродуктивного периода. Тогда как у животных среднего возраста наблюдается трехкратное снижение суммарной дозы облучения. Анализ результатов дисперсионного анализа сочетанного действия факторов радиоактивного загрязнения территории обитания и возраста животных показал отсутствие достоверного влияния на суммарную дозу облучения ($p > 0,3$). Таким образом, динамика роста и особенности метаболизма, как производные возраста и пола животных, а также уровень радиоактивного загрязнения территории обитания не являются теми факторами, которые в полной мере обуславливают вариацию дозы облучения животных.

Сравнительный анализ центральных оценок распределения самцов и самок (таблица 2) показал достоверные различия значений суммарных доз облучения дикого кабана ($p < 0,05$).

Таблица 2 – Медиана поглощённой дозы облучения дикого кабана разного пола, мкГр/сут

| Доза облучения | Зона отселения | | Зона отчуждения | |
|----------------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | самец | самка | самец | самка |
| Внешняя (^{137}Cs) | 103,3 | 96,0 | 268,0 | 207,3 |
| Внутренняя (^{137}Cs) | 98,3 | 43,1 | 192,5 | 154,1 |
| Внутренняя (^{90}Sr) | 44,5 | 32,1 | 57,5 | 39,9 |
| Суммарная доза | 246,1 | 171,2 | 518,0 | 401,3 |

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что суммарная доза у самцов, обитающих на территории зоны отселения, на 43,8 % больше, чем у самок, у самцов, обитающих на территории зоны отчуждения, суммарная доза на 29,2 % больше, чем у самок. Объяснить полученный эффект можно различием площади территории миграции самцов и самок. По данным радиотелеметрического анализа при наблюдении за мечеными животными показано, свиньи с выводком не покидают территорию, радиус которой больше 4 км, тогда как кабаны передвигаться за границы участка 8 км². В результате самец может задействовать в два раза больше кормовой участок [10].

Здесь следует отметить, что результаты факторного анализа пола животных не превысили 15 %, из чего следует, что пол животного так же не является ведущим фактором, который позволил бы в полной мере объяснить неопределенность оценки дозы облучения животного. Вместе с тем, нам представляется, что имеет место кумулятивное действие рассмотренных факторов, каждый из которых обладает достаточно высокой степенью вариативности. Многие авторы [11] указывают на то, что индивидуальное поведение дикого кабана связано с сезонными участками обитания, размеры которых также могут варьироваться в значительной степени. Важным, на наш взгляд, здесь является сезонная миграция и площадь кормового участка, которые невозможно оценить только по месту изъятия животного.

Заключение. Таким образом, вариация доз облучения дикого кабана в значительной степени зависит от индивидуальной активности животного. Факторы плотности радиоактивного загрязнения, возраст и пол позволяют оценить менее половины вариации дозы облучения; их использование для оценки неопределенности и прогноза возможно только в сочетании. Одним из важных факторов является пол животного, поскольку поведения самцов и самок в разные сезоны года имеют различия, которое обуславливают площадь миграции, величину и характер кормовых участков, и, как следствие структуру кормового рациона животных. В результате анализа данных установлены достоверные различия суммарных доз облучения самцов и самок, которые подтверждают это предположение.

Литература

1. Сироткин, А. Н. Радиоэкология сельскохозяйственных животных / А. Н. Сироткин, Р. Г. Ильязов. – Казань : ФЭН, 2000. – 384 с.
2. Алексахин, Р. М. Чернобыльская катастрофа и агропромышленное производство / Р. М. Алексахин // Аграрная наука. – 1996. – № 3. – С. 5–7.

3. Сельскохозяйственная радиэкология / Р. М. Алексахин [и др.] ; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М. : Экология, 1992. – 400 с.
4. Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards // Technical Reports Series. – 1992. – № 322. – P. 112–130.
5. Woodhead, D. S. Contamination due to radioactive materials / D. S. Woodhead // Pollution of the Seas Radioactive Materials, Heavy Metals and Oil / O. Kinne, ed., John Wiley and Sons. – N.Y., 1984. – Vol. 5, part 3. – P. 203–215.
6. МКРЗ, 2004. Международная Комиссия по Радиологической защите. Публикация 91. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека ; пер. с англ. – М. : Изд. «Комтехпринт», 2004. – 76 с.
7. Larsson, C.-M. An overview of the ERICA Integrated Approach to the assessment and management of environmental risks from ionising contaminants / C.-M. Larsson // J. Environ. Radioact. – 2008. – V. 99. – P. 1361–1518.
8. Pentreath, R. J. Concept and use of reference animals and plants / R. J. Pentreath // Protection of the Environment from Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109, IAEA. – Vienna, 2005. – P. 411–420.
9. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки : рекомендации Р 52.18.820-2015 / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Обнинск, 2015. – 60 с.
10. Царев, С. А. Биология зверей : поведение и экология кабана : учебное пособие / С. А. Царев. – М. : Изд-во ФГОУ ВПО РГФЗУ, 2011. – 163 с.
11. Царев, С. А. Кабан : социальное и территориальное поведение / С. А. Царев. – М. : Центрохотконтроль, 2000. – 113 с.

Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины

Поступила в редакцию 21.02.2022