

РЕФЕРЕНТНЫЕ ВИДЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ SR-90

REFERENCE SPECIES AND INDICATORS FOR POLLUTION OF THE FOREST ECOSYSTEM OF SR-90

**Г. В. Лаверентьева^{1,2}, Б. И. Сынзыныс², О. А. Мирзеабасов², Р. Р. Шошина²
G. Lavrentyeva^{1,2}, B. Synzynys², O. Mirzeabasov², R. Shoshina²**

¹ Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, г. Калуга, Российская Федерация

² Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Российская Федерация
Lavrentyeva_G@list.ru

¹ Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation

² Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering of the National Research Nuclear University «MEPhI», Obninsk, Russian Federation

В рамках натурного эксперимента на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, установлены виды и показатели, которые могут выступать в качестве референтных при оценке радиочувствительности лесной экосистемы. К референтному виду можно отнести наземного моллюска *Bradybaena fruticum*, к показателям – высоту раковины моллюска, уровень белков-МТ, каталазную активность почв.

Within the framework of the on-site experiment, species and indicators were established in the territory exposed to radioactive contamination, which can serve as reference in assessing the radiosensitivity of the forest ecosystem. Reference species include the terrestrial mollusk *Bradybaena fruticum*, to the parameters – the height of the mollusk shell, the level of protein-MT, the catalase activity of soils.

Ключевые слова: референтный вид, референтный показатель, наземные моллюски, ферментативная активность почв.

Keywords: reference species, reference index, terrestrial mollusks, enzymatic activity of soils.

В рамках развития эоцентрической системы радиационной защиты биоты Публикация 108 МКРЗ [1] является основополагающим документом, в котором предложен набор референтных животных и растений. МКРЗ, в свою очередь, не акцентирует на завершенность предложенного набора референтных организмов, который включает 12 видов, что не исключает его дальнейшего расширения. Следует отметить, что в Публикации 108 приводится понятийный аппарат, включая понятия «референтное животное или растение» и «референтный уровень, установленный с учетом соответствующих факторов», приводятся четко определенные релевантные эффекты. Однако не рассмотренным остается термин, который отражает радиационно-индуцированное изменение показателей живых организмов. Мы предлагаем апеллировать термином «референтный показатель», который отражает радиационно-индуцированный эффект у представителей биоты на уровне индивидуума, вида, популяции или экосистемы в целом и может быть описан достоверной моделью, имеющей пороговое значение. В рамках данной работы приводятся результаты исследований на территории расположения регионального хранилища радиоактивных отходов. Прилегающая к хранилищу лесная экосистема в результате разгерметизации одной из емкостей в 1998 г. подверглась радиоактивному загрязнению радионуклидом Sr-90. На основании многолетних (2010–2016 гг.) натурных исследований установлены виды и показатели, которые могут рассматриваться как референтные для изучаемой экосистемы. При этом в качестве референтных видов изучались два вида наземных моллюсков – янтарка *Succinea putris* и улитка кустарниковая *Bradybaena fruticum*, референтных показателей – морфологические, уровень белков металлопротеинов (белки-МТ). Также в качестве референтного показателя изучена ферментативная активность микробоценозов.

Пробоотбор почв, растительности (крапивы двудомной), наземных моллюсков осуществлялся на 42 локальных контролируемых участках изучаемой территории. Удельная активность Sr-90 в пробах почвы, растительности, раковинах моллюсков определялась на сцинтилляционном β-спектрометре «БЕТА-01С» по стандартной методике определения содержания Sr-90 по β-излучению его дочернего радионуклида Y-90 в объектах окружающей среды с предварительным радиохимическим выделением Sr-90. Концентрация тяжелых металлов (Ni, Zn, Mn, Cu, Pb, Co, Cd, Cr, Fe) в почве определялась методом атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой (ICP AES Varian Liberty II). Определение удельной активности Sr-90 и концентрации тяжелых металлов в каждой пробе осуществляли в трехкратной повторности. Оценка мощности поглощенной дозы для наземного моллюска осуществлялась посредством метода Монте-Карло с использованием программы MCNP5. Измерение морфометри-

ческих показателей (высота раковины, диаметр раковины) осуществляли с помощью бинокулярного микроскопа марки Motik BA 310 (Motic China Group Co. Ltd.). Уровень белков-МТ в тканях органов животных определялся радиохимическим методом, основанным на замещении ионов металла радиоактивным $Cd-109$, хелатированных в периментальных данных проводилась с помощью программы R.

Результаты и их обсуждение. Значения удельной активности ^{90}Sr в компонентах экосистемы варьируют в следующих диапазонах: 20 ± 3 – 5203 ± 785 Бк/кг; $22,3 \pm 13,4$ – 10596 ± 195 Бк/кг, 76 ± 11 – 17640 ± 2646 Бк/кг для почвы, растительности и раковин наземных моллюсков, соответственно. Для проведения исследований был выбран контрольный участок с удельной активностью $Sr-90$ в почве 20 ± 3 Бк/кг и с однородной (по сравнению с почвами изучаемых локальных участков) концентрацией тяжелых металлов.

Изученные морфологические показатели наземного моллюска вида янтарка *Succinea putris* (высота и ширина раковина, масса раковины и масса всего организма) не имеют достоверного отличия от контроля в условиях радиоактивного загрязнения лесной экосистемы. В свою очередь наблюдается изменение показателя высота раковины моллюска вида *Bradybaena fruticum* в изучаемых радиоэкологических условиях. Установлено изменение высоты раковины моллюска, которое описывается уравнением вида $y = 0,5 + 0,06xe^{(-0,04x)}$ ($p < 0,05$), при увеличении мощности поглощенной дозы от $0,32 \pm 0,07$ до 76 ± 18 мГр/год. При этом наблюдается повышение параметра до $1,5 \pm 0,3$ см при увеличении мощности дозы до 37 ± 6 мГр/год, а при повышении дозовой нагрузки до 76 ± 18 мГр/год – угнетение высоты раковины до $0,41 \pm 0,06$ см. Также установлено радиационно-индуцированное изменение уровня белков-МТ в мягких телах моллюска *Bradybaena fruticum* от $12,4 \pm 1,4$ до 57 ± 9 мкг/г, которое описывается кусочно-линейной зависимостью вида $y = a + k(x - b)$ ($p < 0,05$), где a – постоянное значение до порога ($19,3$), b – критическое (пороговое) значение мощности поглощенной дозы ($42,3$ мГр/год), k – коэффициент пропорциональности в области линейного отклика ($1,12$) ($p < 0,05$). Следует отметить, что влияние тяжелых металлов на изменение уровня белков-МТ в мягких тканях и высоту раковины моллюсков на изучаемой территории исключается ввиду однородности загрязнения.

На основании анализа экспериментальных данных не установлено достоверного изменения активности инвертазы, уреазы и дегидрогеназы при увеличении удельной активности $Sr-90$ в почве. При этом отмечается увеличение активности каталазы от $0,9 \pm 0,3$ до $21,3 \pm 5,9$ $cm^3 O_2 / g \text{ мин}$ при удельной активности $Sr-90$ в почве от $19,7 \pm 11,1$ до 1858 ± 22 Бк/кг. Стимулирование каталазной активности описывается линейным уравнением вида $y = 0,482x + 0,0118$ ($p\text{-value} < 2,2e-16$). Дальнейшее увеличение удельной активности $Sr-90$ в почве до 5202 ± 38 Бк/кг приводит к угнетению каталазной активности до значений $0,6 \pm 0,3$ $cm^3 O_2 / g \text{ мин}$ при контрольном значении $0,9 \pm 0,3$ $cm^3 O_2 / g \text{ мин}$.

На основании вышесказанного можно заключить, что моллюски вида *Bradybaena fruticum* могут выступать в качестве референтных видов для оценки воздействия радиационного фактора на лесную экосистему. При этом установлены референтные показатели, которые могут служить входными параметрами при оценке радиочувствительности лесной экосистемы в целом, - высота раковины моллюсков, уровень белков-МТ, каталазная активность почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Ann. ICRP. 2009. – Vol. 38. – P. 1–242.

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ С ВИЗУАЛЬНЫМ КОНТРОЛЕМ МИШЕНИ (IGRT) IMAGE-GUIDED RADIATION THERAPY (IGRT)

А. В. Лущик, А. А. Карпейкин

А. Lushchuk, A. Karpeikin

Брестский областной онкологический диспансер,

г. Брест, Республика Беларусь

alina_lushchuk@bk.ru

Brest Regional Oncology Center, Brest, Republic of Belarus

Рассмотрены аспекты применения лучевой терапии с визуальным контролем (IGRT) в клинической практике.

The aspects of the use of radiotherapy with visual control (IGRT) in clinical practice are considered.

Ключевые слова: лучевая терапия, IGRT, подвижность органов, размеры полей облучения, лечение в режиме реального времени, уменьшение степени погрешности.

Keywords: radiation therapy, IGRT, mobility of organs, size of irradiation fields, treatment in real time, reduction of the degree of error.