

эпифитного мха *Pylaisia Polyantha*, трансплантированного на планшеты. С помощью эпифитного мха-трансплантата *Pylaisia Polyantha* на урбанизированных территориях можно проводить сезонные оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fernández J.A., Ares A., Rey-Asensio A., Carballeira A., Aboal J.R. Effect of growth on active biomonitoring with terrestrial mosses // *Journal of Atmospheric Chemistry*. – 2009. – 63(1). – p. 1–11.
2. Zechmeister H.G., et al. Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria // *Environmental Science and Pollution Research International*. – 2006. – 13(6). – p. 398–405.
- Rogova N.S., Ryzhakova N.K., Borisenko A.L. Effect of placement conditions for active monitoring of trace element with the epiphytic moss // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2018. – 190 (12). – 733.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА РАДИОИЗОТОПНОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ С ЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Сабитова Р.Р.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Беденко С.В.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н, доцент

<sup>1</sup>Национальный ядерный центр Республики Казахстан, 071100,

г. Курчатов, ул. Красноармейская, 10

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [sabitovaradmila@gmail.com](mailto:sabitovaradmila@gmail.com)

В настоящее время радиоизотопные источники нейтронов широко применяются в лабораторных исследованиях, для задач прикладной ядерной физики и медицины. Как правило, определение энергетических спектров подобных источников затруднено из-за различающейся структуры и состава активной части источника. Например, в Am-Be нейтронных источниках размер зерен смеси варьируется от 1 до 10 мкм, что приводит к неточности в величине нейтронного выхода. Решение данной проблемы осуществляется с помощью гибридного моделирования.

В данной работе определялся спектр выхода нейтронов с поверхности AmBe-источника с учетом зернистости смеси. В качестве исходных данных взяты капсула Amersham X-14 [1] и полученные с помощью Sources-4c спектры для гомогенной (0мкм) и гетерогенной мелкодисперсной (8 мкм) смеси из AmO<sub>2</sub> и Be [2]. Начальная расчетная мощность источника –  $1,5 \cdot 10^7$  н/с и  $7,37 \cdot 10^6$  н/с соответственно. Расчеты показали, что с увеличением диаметра частиц AmO<sub>2</sub> спектр нейтронов менее 4 МэВ слегка смещается в сторону более низких энергий, что указывает на увеличение ( $\alpha$ , n)-реакций с <sup>17,18</sup>O в результате чего меньшее количество альфа-частиц достигает материала бериллия.

Далее в MCNP5 для обоих вариантов был рассчитан перенос частиц, в результате которого нейтронная мощность в среднем увеличилась на 6,4%, из которого 97,7% - в результате реакции (n,2n); 2,3% - при быстром делении. На дальнейшее образование нейтронов теряется около 3% нейтронов.

Энергетический спектр источника, состоящего из мелкодисперсной смеси имеет схожий интегральный выход нейтронов, но различается при переходе от относительных единиц к физическим примерно в 2 раза. Следовательно, с присутствием в геометрии зернистости появляется эффект самопоглощения альфа-частиц. Расчеты показали, что качество прессования и смешивания т.е. структура смеси должна быть учтена при проведении расчетных работ, поскольку она влияет на результат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Norio TSUJIMURA, Tadayoshi YOSHIDA. Calculation of Anisotropy Factors for Radionuclide Neutron Sources // *JAEA-Research 2008-034*
2. Nedis-Serpent simulation of a neutron source assembly with complex internal heterogeneous structure / S.V. Bedenko, G. N. Vlaskin, N. Ghal-Eh [et al.] // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2020 . – Vol. 160 . – [109066, 8 p.]

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОГО СОЧЕТАННОГО КУРСА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ РАКА ТЕЛА МАТКИ

Здерева М.А.<sup>1</sup>, Нгуен Туан Ань<sup>1</sup>, Тургунова Н.Д.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Милойчикова И.А.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., доцент

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт онкологии Томского НИМЦ РАН, 634009, г. Томск, пер. Кооперативный, 5

E-mail: [mashazderevas@gmail.com](mailto:mashazderevas@gmail.com)

Рак тела матки находится в лидирующей позиции в рейтинге по количеству больных из всех злокачественных опухолей женских половых органов, он занимает второе место в структуре всей

женской онкопатологии [1]. Для наиболее результативной борьбы с таким заболеванием применяют комбинированное лечение, которое состоит из хирургического вмешательства и последующим проведением послеоперационной сочетанной лучевой терапии.

Главной проблемой проведения сочетанного курса является поиск оптимального сочетания топометрической подготовки с планированием и доставкой лечения для достижения основной цели – максимального облучения очага с минимальным поражением здоровых тканей [2].

Целью данной работы является оптимизация проведения послеоперационного сочетанного курса лучевой терапии у пациентов с раком тела матки для снижения дозовой нагрузки на критические органы с учетом современных подходов к топометрии и дозиметрическому планированию.

В работе была сделана выборка из 10 пациенток с раком тела матки, получавших послеоперационный сочетанный курс лучевой терапии в виде комбинации дистанционной и внутриволостной лучевой терапии [3]. Для сравнения дозовых нагрузок от разных методик облучения в системе планирования были созданы два плана для дистанционного облучения: конвенциональное – для гамма-терапевтического аппарата Theratron Equinox 80 (источник –  $^{60}\text{Co}$  с  $E_\gamma = 1,25$  МэВ); конформное – для медицинского ускорителя Elekta Synergy. Для сравнения и анализа дозовых нагрузок на критические органы от сеанса внутриволостной лучевой терапии в системе планирования HDRplus были созданы три плана облучения для аппарата MultiSource (источник –  $^{60}\text{Co}$  с  $E_\gamma = 1,25$  МэВ) с учетом различной топометрической подготовки: базовый план без дополнительных средств визуализации, план построенный на снимках, полученных с помощью рентгеновского аппарата С-Дуга и план построенный на данных компьютерной томографии.

Полученные результаты показали, что для снижения дозовых нагрузок на критические органы при проведении дистанционного этапа необходимо использовать конформное облучение. Для проведения топометрической подготовки внутриволостного этапа облучения необходимо использовать компьютерную томографию для визуализации внутренних структур, что поможет провести оценку дозовых нагрузок и выбрать оптимальный способ экранирования критических органов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10014).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. – 250 с.
2. Солодкий В. А., Ставицкий Р.В. Рак шейки матки. – Москва: ГАРТ, 2011. – 159 с.
3. Клинические рекомендации. Рак тела матки и саркомы матки [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://cr.rosminzdrav.ru/#!/schema/320> (дата обращения: 12.10.2020).

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ НАГРЕВА НОВООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСОВ ЕМКОСТНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ

Разумова А.С.<sup>1</sup>, Булавская А.А.<sup>1</sup>, Григорьева А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Милойчикова И.А.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., доцент

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт онкологии Томского НИМЦ РАН,

634009, г. Томск, пер. Кооперативный, 5

E-mail: asr26@tpu.ru

Одной из наиболее актуальных проблем медицины является лечение онкологических заболеваний. Основными подходами в лечении является: лучевая терапия, химиотерапия и хирургическое вмешательство. Радионуклид  $^{60}\text{Co}$  нашел широкое применение как для проведения брахитерапии так и дистанционной лучевой терапии. Для повышения чувствительности опухолевых клеток к лучевой терапии используются радиосенсибилизаторы, одним из которых является гипертермия [1]. Это вид лечения онкологических заболеваний, связанный с нагревом новообразований. Во время сеансов гипертермии необходимо контролировать температуру нагрева, однако инвазивное измерение температуры является затруднительным в силу своего травмирующего характера. В работе [2] предложено решение, заключающееся в применении специальных фантомов, которые имитируют различные свойства тканей и органов.

В рамках исследования были разработаны фантомы, моделирующие реальные электрические свойства нормальных тканей и опухоли, которые использовались для определения уровня нагрева различных тканей для реального курса локальной гипертермии. Аппарат локальной гипертермии Celsius TCS применялся для нагрева фантома. Нагрев происходит путем передачи энергии по принципу ёмкостного сопряжения в электромагнитном поле частотой 13,56 МГц. Для контроля температуры использовалась термометрическая система Celsius TempSens, укомплектованная четырьмя