

## Измерение распределения доз для бор-нейтронозахватной терапии

*Ибрагим Ибрагим<sup>1, 2, 3</sup>, Тимофей Быков<sup>1, 2</sup>, Марина Бикчурина<sup>1</sup>, Вячеслав Поросев<sup>1</sup>,  
Татьяна Сычева<sup>1</sup>, Глеб Верховод<sup>1, 2</sup>, Иван Щудло<sup>1</sup>, Дмитрий Касатов<sup>1</sup>,  
Антон Кузнецов<sup>1, 2</sup>, Евгения Соколова<sup>1</sup>, Ярослав Колесников<sup>1</sup>, Сергей Таскаев<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup> *Тартуский университет, Тартус, Сирийская Арабская Республика*

*E-mail: ibrahim93za@gmail.com*

Рак является основной причиной смертности во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения, в 2020 году он стал причиной почти 10 миллионов смертей. [1]. Метод бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) перспективен в лечении трудноизлечимых опухолей, таких как опухоли головного мозга, путем накопления в них стабильного изотопа бора-10 и последующего облучения эпителиоцитами нейтронами, которые термализуются при достижении опухолевой клетки. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция с большим выделением энергии за счет высокой линейной передачи энергии (LET) ядра лития и альфа-частицы. Эти частицы тормозятся на длине менее 10 мкм, что соответствует размеру клетки млекопитающего, что приводит к гибели этой клетки. [2,3]. Степень облучения опухоли и окружающих тканей при нейтронном облучении зависит не только от тяжелых заряженных частиц, образующихся в результате ядерной реакции  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ , но и от взаимодействия нейтронов с элементами, присутствующими в тканях. Таким образом, методика БНЗТ характеризуется наличием четырех компонент доз с различной относительной биологической эффективностью (RBE):  $D_B$  (**борная доза**) – эта доза, возникающая в результате ядерной реакции  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ .  $D_N$  (**азотная доза**) – доза возникает в результате захвата атомным ядром азота теплового нейтрона в реакции  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ , в результате которой рождается протон с высокой LET.  $D_{n_{fast}}$  (**доза быстрых нейтронов**) – упругое рассеяние нейтронов на атомных ядрах вещества, в основном водорода  $H(n,n)H$ , что создает ядра отдачи с высокой LET.  $D_\gamma$  (**доза гамма излучения**) – доза представляет собой комбинацию дозы от фотонов, вызванных реакциями захвата нейтронов в тканях  $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{D}$ , и дозы фотонов, полученной от системы формирования пучка нейтронов. Таким образом, общая поглощенная доза представляет собой сумму этих четырех компонент доз [4]. В данном исследовании пространственное распределение борной дозы и дозы гамма-излучения измерено малогабаритным сцинтилляционным детектором, состоящим из двух датчиков, один из которых обогащен бором [5,6]. При проведении исследований использовали две системы формирования пучка нейтронов: один с замедлителем из фторида магния, другой с замедлителем из оргстекла [полиметилметакрилат (PMMA)] [7]. Для измерения в фантоме использовали трехмерный (внутренний размер  $330 \times 313 \times 330 \text{ мм}^3$ ) водный фантом со стенками из поликарбоната толщиной 8 мм [6]. Полученные результаты сопоставлены с результатами численного моделирования дозы нейтронов и гамма-излучения методом Монте-

Карло. В результате проведенного исследования определен оптимальный режим облучения опухоли и сформулированы рекомендации по клиническим испытаниям метода БНЗТ.

Финансирование:

Исследование выполнено за счет гранта программы «Приоритет 2030».

Список литературы:

[1] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>.

[2] IAEA-TECDOC-1223. Current Status of Neutron Capture Therapy. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001

[3] Dymova MA, Taskaev SY, Richter VA, Kuligina EV. Boron neutron capture therapy: Current status and future perspectives. Cancer communications. 2020 Sep; 40(9):406-21.

[4] Sauerwein, Wolfgang AG, et al., eds. Neutron capture therapy: principles and applications. Springer Science & Business Media, 2012.pg 279-284.

[5] Bykov, T. A., et al. "Initial trials of a dose monitoring detector for boron neutron capture therapy." Journal of Instrumentation 16.01 (2021): P01024

[6] T. Bykov, D. Kasatov, A. Koshkarev, et al. Evaluation of depth-dose profiles in a water phantom at the BNCT facility at BINP. Journal of Instrumentation 16 (2021) P10016.

[7] L. Zaidi, M. Belgaid, S. Taskaev, R. Khelifi. Beam shaping assembly design of  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  neutron source for boron neutron capture therapy of deep-seated tumor. Applied Radiation and Isotopes 139 (2018) 316-324