

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук  
Решение диссертационного совета от «1» февраля 2023 г. № 78

О присуждении Мунхбаатару Батмунху, гражданину Монголии ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование формирования радиационных повреждений в нервных клетках при действии ускоренных протонов и тяжёлых ионов» по специальности 1.5.1 – «Радиобиология» принята к защите диссертационным советом «14» декабря 2022 года, протокол № 73.

Соискатель Мунхбаатар Батмунх, 1987 года рождения, окончил Монгольский государственный университет в 2009 году, получив степень бакалавра физики, а в 2011 году получил степень магистра по специальности «Теоретическая физика».

Соискатель работает в Лаборатории радиационной биологии Объединенного института ядерных исследований (ЛРБ ОИЯИ) с 2011 года в должности научного сотрудника. В период подготовки диссертации Мунхбаатар Батмунх был прикреплен к ЛРБ ОИЯИ в качестве соискателя с 2013 г. по 2016 г. по специальности «Радиобиология».

Диссертация выполнена в Секторе математического моделирования радиационно-индуцированных эффектов в Лаборатории радиационной биологии Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Бугай Александр Николаевич, директор Лаборатории радиационной биологии Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

**Гришин Владимир Михайлович**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории элементарных частиц и лаборатории радиационной биофизики и биомедицинских технологий, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук;

**Гольцов Алексей Николаевич**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры Биокбернетических систем и технологий Института искусственного интеллекта, "МИРЭА – Российский технологический университет";

**Соловьев Алексей Николаевич**, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией медицинской радиационной физики Медицинского Радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «НМИЦ радиологии» Минздрава России -

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 59 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, из

них 9 статей, опубликованных, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ и 1 статья в журнале, входящем в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 1.5.1 – «Радиобиология» (физ.-мат. науки):

1. **Batmunkh M.**, Aksenova S. V., Bayarchimeg L., Bugay A.N., Lkhagva O. Optimized neuron models for estimation of charged particle energy deposition in hippocampus // *Physica Medica* — 2019. — V. 57. — P. 88–94.– DOI: 10.1016/j.ejmp.2019.01.002. (WoS, Scopus, IF 2.685, 85%).
2. Belov O. V., **Batmunkh M.**, Incerti S., Lkhagva O. Radiation damage to neuronal cells: Simulating the energy deposition and water radiolysis in a small neural network // *Physica Medica*. — 2016. — V. 32. — P. 1510–1520. – DOI: 10.1016/j.ejmp.2016.11.004. (WoS, Scopus, IF 2.685, 80%).
3. **Batmunkh M.**, Belov O.V., Bayarchimeg L., Lkhagva O., Sweilam N.H. Estimation of the spatial energy deposition in CA1 pyramidal neurons under exposure to  $^{12}\text{C}$  and  $^{56}\text{Fe}$  ion beams // *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*—2015. — V. 8. — P. 498-507. — DOI: 10.1016/j.jrras.2015.05.008. (WoS, IF 1.778, 85%).
4. Bayarchimeg L., **Batmunkh M.**, Bugay A.N., Lkhagva O. Evaluation of Radiation-Induced Damage in Membrane Ion Channels and Synaptic Receptors // *Phys. Part. Nucl. Lett.* — 2019. — V.16. — P. 54–62. — DOI: 10.1134/S1547477119010059 (WoS, Scopus, IF 0.824, 50%).
5. **Batmunkh M.**, Bayarchimeg L., Bugay A N., Lkhagva O. Computer simulation of radiation damage mechanisms in the structure of brain cells // *American Institute of Physics-Conf. Proc.* – 2021. – V. 2377. – P. 050001. – DOI: 10.1063/5.0063370. (WoS, Scopus, IF 0.8, 90%).
6. **Batmunkh M.**, Bayarchimeg L., Bugay A. N., Lkhagva O. Monte Carlo track structure simulation in studies of biological effects induced by accelerated charged particles in the central nervous system // *European Physics Journal*. — 2019. — V. 204. — P. 04008. – DOI: 10.1051/epjconf/201920404008. (WoS, Scopus, SJR 0.184, 85%).
7. **Batmunkh M.**, Bugay A. N., Bayarchimeg L., Lkhagva O. Radiation damage to nervous system: Designing of optimal models for realistic neuron morphology in hippocampus // *European Physics Journal*. — 2018. — V. 173, — P. 05004. — DOI: 10.1051/epjconf/201817305004. (WoS, Scopus, SJR 0.194, 85%).
8. Bayarchimeg L., **Batmunkh M.**, Belov O. V., Lkhagva O. Simulation of radiation damage to neural cells with Geant4-DNA // *European Physics Journal*. — 2017. — V. 173. — P. 05005. — DOI: 10.1051/epjconf/201817305005. (WoS, Scopus, SJR 0.194, 80%).
9. Bugay A. N., Aksenova S. V., Batova A. S., **Batmunkh M.**, Bayarchimeg L., Dushanov E.B., Kolesnikova E.A., Panina M.S., Parkhomenko A.Yu., Vasilyeva M.A. Computer modelling of radiation-induced disorders in central nervous system // *Nonlin. Phenom. Complex Syst.* — 2018. — V. 24. — P. 33–40. (WoS, RSCI, IF 0.82, 40%).

На диссертацию и автореферат поступило 3 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Гришин Владимир Михайлович – специалист в области Geant4-моделирования взаимодействия заряженных частиц с веществом; Гольцов Алексей Николаевич – специалист в области биофизики и биоинженерии; Соловьев Алексей Николаевич – специалист в области радиобиологии и медицинской радиационной физики.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решены вопросы, имеющие значение для развития радиобиологии: **1)** изучено повреждающее действие разных видов ионизирующих излучений на клетки центральной нервной системы путём моделирования взаимодействия частиц с веществом; **2)** показано неравномерное распределение поглощений дозы и продуктов радиолиза в объемных структурах нейронов при облучении ускоренными тяжелыми ионами по сравнению с воздействием ускоренных протонов; **3)** изучено формирование молекулярных повреждений и летальных действий после прохождения через ДНК нейронов гиппокампа крыс тяжёлых заряженных частиц в широком диапазоне энергий.

Практическая значимость работы Мунхбаатара Батмунха заключается в следующем: **1)** разработанные теоретические модели могут быть использованы для дальнейшего развития методов радиационных нарушений структур ЦНС, а также для экстраполяции ограниченных радиобиологических экспериментальных данных на различные виды ионизирующих излучений в широком диапазоне физических характеристик; **2)** разработан прикладной программный пакет “neuron” для моделирования радиационных повреждений нервных клеток, включенный в дистрибутив Geant4-DNA; **3)** полученные данные и разработанные методы вносят вклад в оценку радиационных рисков для ЦНС космонавтов при реализации длительных космических полётов; **4)** разработанные модели могут быть применены для оценки побочных эффектов в здоровых тканях и расчета гибели опухолевых клеток при планировании адронной терапии рака мозга.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку, а именно: **1)** разработанный алгоритм позволяет смоделировать любую геометрию нервных клеток и областей мозга в программном пакете Geant4 для микродозиметрических расчетов и вычисления повреждений ДНК при действии тяжелых заряженных частиц; **2)** результаты микродозиметрических расчетов показывают, что большая часть поглощенной дозы в нервной клетке приходится на дендриты, что существенно зависит от геометрии клеток и

типа частиц, а вероятность попадания в клетку уменьшается с ростом линейной передачи энергии при одинаковой поглощенной дозе излучения в заданной области мозга; **3)** предложенный модельный подход позволяет детально произвести расчет количества и степени кластеризации повреждений оснований, однонитевых и двунитевых разрывов ДНК в нервных клетках с учетом вкладов прямых ионизаций и реакций со свободными радикалами при действии тяжелых заряженных частиц в широком диапазоне энергий; **4)** модель на основе расчета повреждений ДНК, индуцированных тяжелыми заряженными частицами, позволяет предсказать выживаемость радиочувствительной популяции клеток субгранулярной зоны гиппокампа крыс.

**Личный вклад автора** заключается в планировании, организации и проведении исследований, выполнении расчетов, анализе и интерпретации полученных результатов, написании и обсуждении научных статей по теме диссертации. По всем разделам и этапам работы доля участия соискателя составила по крайней мере 80%. Основные научные результаты и выводы, содержащиеся в диссертации, получены лично автором диссертации.

На заседании «1» февраля 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Мунхбаатару Батмунху ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.5.1 – «Радиобиология» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 16, против - 0, недействительных бюллетеней - 1.

Заместитель председателя диссертационного совета,

доктор физ.-мат. наук, профессор

Черняев А.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета

канд. хим. наук

Северин А.В.

1 февраля 2023 года