

УТВЕРЖДАЮ

Вице-директор ОИЯИ

“ ____ ” _____ 2017 г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ПРОДЛЕНИЯ ТЕМЫ
для включения
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ОИЯИ НА 2018-2020 гг.**

Шифр темы 04-9-1077-2009/2017 Лаборатория радиационной биологии

Направление: (04) Физика конденсированных сред, радиационные и радиобиологические исследования.

Наименование темы: Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий

Руководители темы: Красавин Е.А.

Тимошенко Г.Н.

Краткая аннотация:

Актуальность темы. Настоящая тема является продолжением ранее выполненных исследований в рамках темы «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий» **04-9-1077-2009/2017**. За данный период разработки были нацелены, главным образом, на изучение генетических нарушений в клетках различного происхождения и проведение радиационно-физиологических исследований. Они касались изучения закономерностей и механизмов молекулярных нарушений в генетических структурах клеток млекопитающих и человека, формирования мутаций различного типа в клетках низших и высших эукариот; исследований радиационных повреждений в структурах органа зрения и центральной нервной системы при действии ионизирующих излучений разного качества. В ходе радиационно-генетических исследований детально изучены закономерности образования и кинетики репарации двунитевых разрывов ДНК при действии ускоренных ионов бора и неона с энергией 50 МэВ/нуклон и высокоэнергетичных ионов углерода с энергией 500 МэВ/нуклон. Показаны резкие различия в пространственном распределении повреждений в ядрах клеток человека при γ -облучении и действии ускоренных тяжёлых ионов. При γ -облучении повреждения распределяются в ядрах клеток случайным образом, при действии тяжёлых ионов локализуются по ходу треков заряженных частиц, формируя «треки» из двунитевых разрывов ДНК кластерного типа. Установлено, что размеры и состав кластеров определяется физическими характеристиками действующих излучений. Совместно со специалистами Института биофизики ЧАН (Чехия, Брно) выполнен цикл работ по изучению кинетики индукции и репарации повреждений ДНК в нормальных и опухолевых клетках при действии γ -квантов, протонов различных энергий и ускоренных ионов неона. Исследованы закономерности мутационного процесса в клетках млекопитающих при действии излучений широкого диапазона линейных передач энергии (ЛПЭ) в различные сроки после радиационного воздействия. Выявлено, что максимальный выход мутантных субклонов зависит от ЛПЭ ускоренных ионов. При более высоких ЛПЭ наблюдается смещение максимума выхода мутантов с увеличением времени экспрессии облученных клеток. Зависимость имеет экспоненциальный характер, что может указывать на качественные различия повреждений генетических структур при разных значениях ЛПЭ, обуславливающих данное смещение.

В ходе выполнения радиационно-физиологических исследований выполнен большой цикл исследований по определению зависимости морфологических и функциональных изменений сетчатки глаза мелких лабораторных животных от величины дозы воздействия гамма-квантов, протонов 170 МэВ и генотоксического химического агента (метилнитрозомочевины). Показано, что ускоренные протоны в дозе 25 Гр вызывают морфологические изменения в

сетчатке глаза, возрастание экспрессии индуцибельных белков, связанных с апоптотической гибелью фоторецепторных клеток в сетчатке, что ведет к утрате функциональной активности сетчатки. Выявлена способность зрелой сетчатки глаза мышей к клеточному и функциональному восстановлению и к адаптивному ответу. Совместно со специалистами Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН ГКНЦ Институт медико-биологических проблем РАН изучено влияние ускоренных ионов углерода с энергией 500 МэВ/нуклон на метаболизм ключевых нейромедиаторов головного мозга грызунов. Определены наиболее чувствительные области мозга к облучению, в которых метаболизм менялся в ранние и поздние сроки после радиационного воздействия.

Наряду с экспериментальными исследованиями был выполнен значительный объём теоретических работ по математическому моделированию радиационно-индуцированных эффектов. Построены математические модели мутационного процесса, индуцированного ультрафиолетовым излучением, в репарационно-дефицитных бактериальных клетках *E.coli*. и репарации двунитевых разрывов (ДР) ДНК в клетках высших организмов при действии ионизирующих излучений разного качества. В рамках разработанных подходов возможно описание кинетики формирования и элиминации кинетики ДР ДНК. Показано, что подход применим для моделирования кинетики репарации ДР ДНК в клетках, содержащих дефекты в системе репарации.

Предложена и обоснована новая концепция радиационного риска для пилотируемых межпланетных полётов, в рамках которой радиационный риск для космонавтов связывается, главным образом, с действием тяжёлых ядер галактических космических лучей на структуры центральной нервной системы. Такое влияние в ходе полёта может привести к изменениям высших интегративных функций мозга и обусловить нарушения операторской деятельности экипажей. Новая парадигма обуславливает изменение основных направлений научных исследований в области космической радиобиологии, обуславливает необходимость разработки новых нормативных документов обеспечения радиационной безопасности при пилотируемых полётах в дальний космос.

С учетом изложенного, решение затронутых фундаментальных и практических проблем, настоятельно требует детального изучения закономерностей и механизмов действия тяжёлых заряженных частиц на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях биологической организации. Исследования молекулярных нарушений в генетических структурах, прежде всего, важны в плане анализа возникновения наиболее тяжёлых повреждений ДНК – двунитевых разрывов. Внедрённый и развитый в ЛРБ эффективный метод анализа кластерных двунитевых разрывов ДНК (метод ДНК-фокусов) позволит изучить формирование наиболее тяжёлых повреждений генетического аппарата при действии тяжёлых

ионов и даст возможность исследовать формирование и репарацию генетических повреждений, как в пролиферирующих тканях, так и в высококодифференцированных элементах нервной системы. Использование в экспериментах клеток различных организмов (низших эукариот, клеток млекопитающих и человека) позволит оценить выход генных и структурных мутаций при действии излучений широкого диапазона ЛПЭ, образование цитогенетических нарушений при разных дозах облучения заряженными частицами различных энергий. Развитые в ЛРБ подходы к решению проблемы хромосомной нестабильности, реакции клеток млекопитающих и человека на действие малых доз облучения разными видами ионизирующих излучений позволит выяснить механизмы, лежащие в основе этих реакций, понять вклад физико-химических процессов (активных форм кислорода) и индуцибельных репарационных механизмов в их реализацию. Выяснение этих фундаментальных клеточных процессов как ответов на воздействие заряженных частиц различных энергий может составить основу к пониманию тканевых реакций высококодифференцированных клеточных систем – сетчатки глаза и различных структур центральной нервной системы на лучевое воздействие. В свою очередь, эти исследования позволят оценить нарушения интегративной целостности системы – нарушений когнитивной сферы, поведенческих реакций. Совершенно очевидна практическая направленность такого рода комплексных исследований для различных сфер деятельности.

Основой успешной реализации запланированных работ является наличие в ОИЯИ уникальной базы ускорителей тяжёлых ионов. Прежде всего, ускорителя Нуклотрон, на пучках которого возможно выполнение комплекса исследований на молекулярном, цитогенетическом и организменном уровнях биологической организации, и циклотрона МЦ400, позволяющего проводить широкий спектр молекулярных и цитогенетических исследований. Энергии ионов, доступных на этих ускорителях, перекрывают значительную часть энергетического диапазона ядер ГКИ.

Основные направления исследований в рамках темы:

- *Исследование закономерностей и механизмов возникновения молекулярных нарушений структуры ДНК и их репарации в клетках млекопитающих и человека при действии излучений с разной ЛПЭ in vivo и in vitro*

Количественный анализ закономерностей формирования различных повреждений ДНК и их репарации в пострadiационный период является исключительно важным при выяснении фундаментальных механизмов лучевых реакций клеток: летальных и мутагенных эффектов

облучения, апоптотических реакций, трансформирующего влияния облучения. Разработанные методы анализа молекулярных нарушений в ДНК клеток различных организмов позволяют оценивать повреждения не только в клеточных ансамблях, но и в индивидуальных клетках. Это методы: ДНК-комет, ДНК-фокусов и различные цитометрические методы. Иммуноцитохимический метод ДНК-фокусов позволяет не только выявлять повреждения в ядрах индивидуальных клеток, но и визуализировать треки ускоренных тяжелых ионов, проходящих через клеточные ядра. Такой подход делает возможным анализ тонкой структуры кластерных повреждений ДНК, позволяет учитывать количество повреждений по ходу трека тяжёлой заряженной частицы. Использование данных методов поможет ответить на вопрос – влияют ли распределения различных видов повреждений ДНК на способность клеток к репарации и если – да, то каким образом, а также выяснить – как различные белки узнают кластерные повреждения, как быстро происходит узнавание различных типов повреждений ДНК, какие белки первыми устремляются к месту повреждения ДНК.

- *Получение сравнительных данных о закономерностях индукции генных и структурных мутаций в клетках млекопитающих и низших эукариот при действии редко и плотно ионизирующих излучений с разными ЛПЭ*

Вопросы мутагенного действия ионизирующих излучений разного качества, в особенности ускоренных тяжелых ионов, на клетки млекопитающих и человека по-прежнему актуальны и требуют пристального изучения.. В экспериментах по облучению бактериальных клеток различных линий ускоренными тяжёлыми ионами широкого диапазона ЛПЭ в ЛРБ получены уникальные данные, свидетельствующие о различном характере индукции генных и структурных мутаций. Эти различия касаются характера дозовых зависимостей (линейно-квадратичная для генных мутаций и линейная для мутаций структурного типа), отражающих различия в природе молекулярных премутационных повреждений и в механизмах реализации регистрируемых мутаций. Данные исследования крайне необходимы для решения ряда практических задач, связанных с вопросами нормирования лучевых нагрузок на персонал при работе в смешанных полях ионизирующих излучений, вопросами радиационной безопасности космонавтов при осуществлении длительных полетов в дальнем космосе, с использованием пучков заряженных частиц для лучевой терапии. В ходе работ предполагается выявить особенности мутагенного действия редко- и плотно ионизирующих излучений на клетки млекопитающих и оценить мутагенное действие излучений разного качества. На модельной системе одноклеточных эукариот

предполагается продолжить исследование закономерностей индукции генных и структурных мутаций тяжелыми заряженными частицами широкого диапазона ЛПЭ.

- *Исследование механизмов повреждения и восстановления сетчатки глаза после воздействия ТЗЧ*

Исследование действия ионизирующих излучений на молекулярные механизмы, контролирующие функции ЦНС, является продолжением работ, связанных с оценкой радиационного риска при планировании длительных пилотируемых полётов за пределами магнитосферы Земли. Сетчатка глаза, являющаяся частью центральной нервной системы и по меткому определению классика в этой области науки Рамона и Кахаля «частью мозга, вынесенной на периферию», несомненно, представляет в этой связи объект пристального изучения. Исследования лежат в области фундаментальной проблемы повреждения и восстановления терминально дифференцированных клеток и состоящих из них тканей. Полученные ранее в ЛРБ данные позволили вычлнить феномен восстановления сетчатки от генотоксического воздействия, показать его стимулирование небольшими дозами радиации, связь с апоптозом фоторецепторов сетчатки. В дальнейших исследованиях планируется изучить механизм снижения апоптоза в результате радиационного прекондиционирования сетчатки, возможное участие в нем различных эндогенных клеточных протекторов и глиальных клеток Мюллера. Для этой цели предполагается использовать разработанную процедуру визуализации и детекции клеток Мюллера в микросрезах сетчатки по включению в них пролиферативного маркера BrUdR. Планируется определить зависимость ответа сетчатки глаза мышей от вида и дозы облучения, что позволит охарактеризовать деструктивный эффект излучений в корреляции с функциональными изменениями сетчатки глаза.

- *Исследование характера повреждений и закономерностей гибели клеток центральной нервной системы. Выявление функциональных и морфологических нарушений в ЦНС в результате действия ТЗЧ*

Радиобиологические исследования дают основание полагать, что радиационное поражение ЦНС является одним из основных компонентов риска, ограничивающих возможность осуществления экспедиций вне магнитосферы Земли. Высокий уровень психологической напряженности в сочетании с комбинированным воздействием других негативных факторов полета (ионизирующие излучения, микрогравитация, измененная

среда обитания, вибрация, гиподинамия, гипомагнитная среда и др.) определяет чрезвычайно высокий риск астенизации ЦНС, чреватой серьезными нарушениями работоспособности, вплоть до развития симптомов, характерных для болезни Альцгеймера. При этом основную опасность представляют тяжёлые ионы галактических космических лучей. Для получения адекватных экспериментальных данных по возможным нарушениям операторской деятельности космонавтов планируется продолжить модельные эксперименты на лабораторных животных, подвергнутых облучению, и изучить нервные и нейрохимические механизмы нарушений; провести экстраполяцию этих данных на человека и оценить радиационно-обусловленный эргономический риск нарушения операторской деятельности космонавтов в длительных межпланетных экспедициях. Будут продолжены эксперименты по облучению приматов, имитирующих элементы операторской деятельности, в совокупности с изучением нейрофизиологических и нейрохимических механизмов, лежащих в основе этих процессов. Следует особо отметить, что у обезьян, как и у человека, огромное значение имеют индивидуальные особенности высшей нервной деятельности и регуляции, во многом определяющие резистентность к различным стресс-факторам (в том числе и к радиационному).

- *Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов ионизирующих излучений с разной ЛПЭ на молекулярном и клеточном уровне. Разработка и анализ математических моделей молекулярных механизмов нарушений структуры и функций центральной нервной системы в результате действия ионизирующих излучений*

Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов является одним из динамично развивающихся направлений современной радиобиологии. Достигнуты значительные успехи в разработке математических моделей, описывающих различные этапы радиационного поражения живых систем – от нарушений, наблюдаемых на уровне отдельных молекул, до изменений в работе некоторых физиологических систем. Большое внимание в современных работах в области количественной радиобиологии уделяется вопросам первичных этапов повреждения ДНК при действии ионизирующих излучений разного качества и описанию процессов репарации ДНК. Накопление экспериментальных данных о молекулярных механизмах репарации ДНК способствует развитию достаточно подробных моделей, характеризующих восстановление радиационно-индуцированных повреждений. Одной из актуальных задач является математическое моделирование отдельных аспектов действия радиации на структуры и функции ЦНС. Воздействие

ионизирующей радиации на ЦНС может проявляться как нарушение передачи сигналов, ионной регуляции и функционирования синапсов, нарушение экспрессии генов и синтеза белков и нейрогенеза в гиппокампе. Отдаленные последствия облучения влекут за собой расстройство когнитивных функций, таких как память и пространственная ориентация. Для решения поставленных задач предполагается впервые реализовать совместное применение целого ряда расчётных методов из области моделирования транспорта заряженных частиц через вещество, радиационной химии, молекулярной динамики, биофизики полимеров, генетических регуляторных сетей, обработки и передачи информации в нейронных сетях.

- *Расчет защит новых ядерно-физических установок, оценка радиационной обстановки и разработка систем радиационной безопасности*

Будут продолжены работы по развитию методов пучковой дозиметрии тяжелых ионов в приложении к радиобиологическим исследованиям на ускорителях заряженных частиц, работы по решению вопросов радиационной безопасности на комплексе NICA, развитию методов нейтронной спектрометрии и радиометрии, участие в работах по ядерной планетологии, астробиологии. Ежегодно планируется проведение двух радиобиологических экспериментов на пучках тяжелых ядер Нуклотрона и двух радиобиологических экспериментов на пучках ядер циклотрона МЦ400. Кроме этого, предполагается периодическое облучение биологических объектов на медицинском пучке фазотрона и γ -терапевтической установке Рокус-М.

Этапы работы

1. Радиобиологические исследования на пучках заряженных частиц.

Руководитель *Красавин Е.А.* + 43 ставок

2. Радиационные исследования.

Руководитель *Тимошенко Г.Н.* + 12 ставок

3. Фоторадиобиологические исследования.

Руководитель *Островский М.А.* + 4 ставок

4. Исследование закономерностей и механизмов структурных и функциональных нарушений центральной нервной системы при действии тяжелых заряженных частиц.

Руководители *Иванов А.А* + 7 ставок

5. Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов ионизирующих излучений.

Руководитель *Бугай А.Н.* + 7 ставок

6. Подготовка специалистов по радиационной безопасности и радиобиологии.

Руководители *Красавин Е.А., Пакуляк С.З.*

Ожидаемые результаты по завершении темы

Планируемые в рамках темы работы являются продолжением начатых ранее в ЛРБ ОИЯИ исследований. В ходе работ предполагается:

По направлению «Исследование закономерностей и механизмов возникновения молекулярных нарушений структуры ДНК и их репарации в клетках млекопитающих и человека при действии излучений с разной ЛПЭ in vivo и in vitro»:

- ✓ исследовать закономерности формирования кластерных ДР ДНК при действии ускоренных тяжёлых ионов в ядрах фибробластов кожи человека и радиорезистентных опухолевых клетках U87;
- ✓ определить кинетику репарации кластерных ДР ДНК в пострadiационный период в ядрах фибробластов кожи человека и радиорезистентных опухолевых клетках U87;
- ✓ исследовать формирование и кинетику репарации кластерных ДР ДНК в пострadiационный период при действии ускоренных тяжёлых ионов в ядрах клеток предшественников и зрелых нейронах, а также глиальных клетках ЦНС млекопитающих с использованием маркеров клеточных субпопуляций - NeuN, doublecortin, GFAP, BrdU, calbindin;
- ✓ исследовать закономерности формирования различных типов повреждений ДНК (однонитевых разрывов ДНК, повреждений оснований, комплексных повреждений ДНК) при действии ТЗЧ в ядрах фибробластов человека;

- ✓ изучить вклад различных путей репарации ДР ДНК в фибробластах человека при действии излучений разного качества методом иммуноцитохимического окрашивания белков репарации RAD51 (HR) и DNA PKcs (NHEJ);
- ✓ исследовать экспрессию генов, кодирующих белки, участвующие в репарации (RAD51, DNA PKcs, NBS1, MRE11 и др.) в фибробластах человека при действии ТЗЧ;
- ✓ исследовать закономерности индукции апоптоза в фибробластах кожи человека, в нейронах ЦНС млекопитающих при действии ускоренных тяжёлых ионов;
- ✓ исследовать экспрессию генов, кодирующих белки и каспазы, участвующие в индукции апоптоза в фибробластах человека и нервных клетках при действии заряженных частиц различных энергий;
- ✓ исследовать закономерности формирования и репарации ДР ДНК в раковых клетках и нормальных клетках, расположенных вблизи опухоли, полученных от пациентов, проходящих радиотерапевтическое лечение;
- ✓ исследовать закономерности формирования и элиминации повреждений *in vivo* и *in vitro* в нейронах ЦНС млекопитающих при действии γ -квантов и ускоренных тяжелых ионов;
- ✓ выявить молекулярные нарушения в нейронах гиппокампа и мозжечка в различные сроки (до 3-х месяцев) после облучения тяжелыми заряженными частицами;
- ✓ определить влияние возрастных изменений ЦНС на индукцию и репарацию повреждений в нейронах млекопитающих при действии ионизирующих излучений разного качества;
- ✓ исследовать закономерности индукции ДР ДНК и кинетику репарации ДР ДНК в нейронах ЦНС млекопитающих и лимфоцитах периферической крови млекопитающих при действии ионизирующего излучения разного качества в условиях влияния иммуномодуляторов.

По направлению «Получение сравнительных данных о закономерностях индукции генных и структурных мутаций в клетках млекопитающих и низших эукариот при действии редко и плотно ионизирующих излучений с разными ЛПЭ»:

- ✓ провести цитогенетический и молекулярный анализ полученных мутантных субклонов;
- ✓ исследовать хромосомную и геномную нестабильность у потомков обученных клеток
- ✓ завершить исследование действия γ -квантов, используемого в качестве стандартного облучения, на различные генетические системы дрожжей, позволяющие тестировать все типы мутационных событий;

- ✓ изучить влияние митохондриального генома, как одного из источников окислительного стресса, на мутагенное и летальное действие излучения с использованием ρho^- и ρho^0 мутаций митохондриального генома дрожжей;
- ✓ отработать методику количественного определения АФК в клетках дрожжей с использованием флуоресцентного окрашивания;
- ✓ провести измерения уровня АФК в клетках дрожжей при облучении γ -квантами и тяжелыми ионами на микропланшетном ридере Synergy H1m (BioTek Instruments, Inc.).

По направлению «Исследование механизмов повреждения и восстановления сетчатки глаза после воздействия ТЗЧ»:

- ✓ установить нарушения в клеточных элементах сетчатки, в первую очередь в глиальных клетках Мюллера и фоторецепторных клетках, при радиационном (гамма-излучения, ускоренных протонов, ТЗЧ) облучении глаза мышей;
- ✓ изучить функциональные нарушения сетчатки глаза при регистрации её электрической активности после радиационного (гамма-излучения, ускоренных протонов, ТЗЧ) облучения глаза мышей;
- ✓ охарактеризовать способность сетчатки к восстановлению после фракционированного радиационного воздействия.

По направлению «Исследование характера повреждений и закономерностей гибели клеток центральной нервной системы. Выявление функциональных и морфологических нарушений в ЦНС в результате действия тяжелых заряженных частиц»:

- ✓ в экспериментах на грызунах исследовать количественные закономерности развития морфо-функциональных нарушений в ЦНС при действии корпускулярного излучения – установить зависимость доза и время-эффект;
- ✓ сопоставить эффекты редко- и плотноионизирующих излучений в действии на ЦНС;
- ✓ установить вклад метаболических нарушений, развивающихся в облученном организме, на функцию ЦНС;
- ✓ исследовать фармакологические эффекты ноотропных препаратов на функцию ЦНС после корпускулярного излучения;
- ✓ оценить влияние традиционных противолучевых препаратов на функцию ЦНС при корпускулярном излучении.

- ✓ исследовать влияние облучения на обмен моноаминов и их метаболитов в различных структурах мозга (неокортекс, гиппокамп, гипоталамус, прилежащее ядро, префронтальная кора), принимающих активное участие в реализации поведения и моторного контроля, формирующих эмоциональные и мотивационные состояния;
- ✓ исследовать уровень апоптотической гибели нейронов в различных отделах головного мозга грызунов в разные сроки после воздействия ионизирующих излучений (по определению активности Каспазы-3) ;
- ✓ изучить влияние излучений разного качества на нейрогенез, рост и развитие нейронов, в том числе:
 - оценить уровень нейротрофического фактора мозга BDNF и нейротрофического фактора глиальных клеток GDNF, играющих важную роль в пролиферации, дифференциации и развитии нейронов, в частности, в гиппокампе;
 - оценить уровень фактора роста нервов NGF в различных отделах головного мозга;
- ✓ провести морфофункциональное исследование отдалённых эффектов воздействия ионизирующих излучений разного качества;
- ✓ сопоставить результаты исследований, полученных при действии γ -квантов, протонов высоких энергий и ускоренных тяжёлых ионов;
- ✓ соотнести изменения, наблюдаемые на уровне молекулярных механизмов, с результатами поведенческих тестов.

По направлению «Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов ионизирующих излучений с разной ЛПЭ на молекулярном и клеточном уровне. Разработка и анализ математических моделей молекулярных механизмов нарушений структуры и функций центральной нервной системы в результате действия ионизирующих излучений»:

- ✓ провести математическое моделирование механизмов индукции и репарации основных типов повреждений ДНК в клетках млекопитающих и человека;
- ✓ сформулировать математическую модель развития радиационно-индуцированного оксидативного стресса в нервных клетках;
- ✓ разработать методы теоретического расчета радиационно-индуцированных повреждений, возникающих в чувствительных структурах нервных клеток: мембране, цитоскелете, ионных каналах, синаптических контактах;
- ✓ сформулировать математические модели нейронных сетей головного мозга и произвести на их основе теоретическую оценку радиационно-индуцированных нарушений когнитивных функций.

По направлению «Расчет защит новых ядерно-физических установок, оценка радиационной обстановки и разработка систем радиационной безопасности»:

- ✓ обеспечить физическую поддержку проводимых на ускорителях заряженных частиц радиобиологических экспериментов;
- ✓ продолжить разработку методов исследования характеристик пучков тяжелых ионов и пучковой дозиметрии;
- ✓ продолжить участие в проектировании новых ядерно-физических установок ОИЯИ в части радиационной безопасности (в первую очередь, ускорительного комплекса NICA);
- ✓ продолжить развитие методов спектрометрии и радиометрии нейтронов на ядерно-физических установках ОИЯИ и в окружающей их среде;
- ✓ обеспечить функционирование экспериментального стенда “ДАН” и продолжить участие в работах по созданию, тестированию и градуировке приборов ядерной планетологии для исследования элементного состава поверхности небесных тел Солнечной системы и поиска водяного льда.

Список участников и организаций

В рамках темы ЛРБ будет сотрудничать со следующими научными учреждениями стран-участниц ОИЯИ и других стран: Армения (ЕГУ), Беларусь (ИРБ НАНБ), Болгария (IE BAS, NCRRP), Италия (UNIUD), Молдова (Ун-т АНМ), Монголия (NUM), Польша (SU), Россия (ИМБП РАН, НИИФ РАН, МГУ, ИТЭФ, ИВНДиН РАН, НИИ МП), Румыния (UMF, UAIC, IBR), Словакия (CU), Чехия (IBR ASCR, STU, NRI), ЮАР (iThemba Labs).

Сроки выполнения работы 2018 - 2020 гг.

Полная сметная стоимость темы в соответствии с семилетним планом ОИЯИ:

2018 г. - 245 тыс. долларов США

2019 г. – 254,5 тыс. долларов США

2020 г. - 266 тыс. долларов США

Итого: 765,5 тыс. долларов США

Другие источники финансирования нет

СОГЛАСОВАНО:

Главный ученый секретарь

_____ /Сорин А.С./

“ _____ ” _____ 2017 г.

Директор лаборатории

_____ /Красавин Е.А./

“ _____ ” _____ 2017 г.

**Начальник Планово-финансового отдела
лаборатории**

_____ / _____ /

“ _____ ” _____ 2017 г.

Ученый секретарь

_____ /Кошлань И.В./

“ _____ ” _____ 2017 г.

Начальник научно-организационного отдела

_____ / _____ /

“ _____ ” _____ 2017 г.

Экономист лаборатории

_____ /Леснинова И.Ю./

“ _____ ” _____ 2017 г.

Руководители темы

_____ /Красавин Е.А./

_____ /Тимошенко Г.Н./

“ _____ ” _____ 2017 г.