

АННОТАЦИЯ к проекту
«Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц
различных энергий»

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 (метилнитрозомочевина). 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 высокодифференцированных 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 высокодифференцированных 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.

Намечены следующие 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*.
- 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.
- Исследование механизмов повреждения и восстановления сетчатки глаза после воздействия ТЗЧ.
- Исследование характера повреждений и закономерностей гибели клеток центральной нервной системы. Выявление функциональных и морфологических нарушений в ЦНС в результате действия ТЗЧ.
- 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.
- Расчет защит новых ядерно-физических установок, оценка радиационной обстановки и разработка систем радиационной безопасности.

Ожидаемые результаты за 3-х летний период.

*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 ρ^+ и ρ^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.

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления
проекта «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц
различных энергий»**

Наименования узлов и систем установки, ресурсов, источников финансирования			Стоимость узлов (тыс.долл) установки. Потребности в ресурсах.	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов		
				2015	2016	2017
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Нуклотрон	144 ч	48 ч	48 ч	48 ч
		Циклотрон МЦ400	288 ч	96 ч	96 ч	96 ч
		Рокус-М	300 ч	100 ч	100 ч	100 ч
		Мед. пучок фазотрона	102 ч	34 ч	34 ч	34 ч
Источник финансирования	Бюджет	Тема 1077	1135	316	374	445

РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА

/Красавин Е.А./

/Тимошенко Г.Н./

Кадровые ресурсы

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

План-график работ

№	Наименование основных работ и этапов	Сроки работы (год, квартал)	
		Начало	Окончание
1	Определение закономерностей формирования кластерных ДР ДНК при действии ТЗЧ в ядрах фибробластов кожи человека, радиорезистентных опухолевых клетках U87.	2018, I	2020, IV
2	Исследование кинетики репарации кластерных ДР ДНК после действия ТЗЧ в ядрах фибробластов кожи человека, радиорезистентных опухолевых клетках U87.	2018, I	2020, IV
3	Изучение закономерностей формирования различных типов повреждений ДНК (однонитевых разрывов ДНК, повреждений оснований, комплексных повреждений ДНК) при действии ТЗЧ в ядрах фибробластов человека.	2018, I	2020, IV
4	Определение вклада различных путей репарации ДР ДНК в фибробластах человека при действии излучений разного качества методом иммуноцитохимического окрашивания белков репарации RAD51 (HR) и DNA PKcs (NHEJ).	2018, III	2020, IV

5	Изучение закономерностей формирования и кинетики репарации кластерных ДР ДНК при действии ТЗЧ в ядрах клеток предшественников и зрелых нейронах, а также глиальных клетках ЦНС млекопитающих с использованием маркеров клеточных субпопуляций - NeuN, doublecortin, GFAP, BrdU, calbindin.	2018, I	2020, IV
6	Проведение экспериментов по изучению экспрессии генов кодирующих белки, участвующие в репарации (RAD51, DNA PKcs, NBS1, MRE11 и др.) в фибробластах кожи человека при действии ТЗЧ.	2019, I	2020, IV
7	Изучение закономерностей индукции апоптоза в фибробластах кожи человека, в нейронах ЦНС млекопитающих при действии ТЗЧ.	2018, I	2020, IV
8	Проведение экспериментов по изучению экспрессии генов кодирующих белки и каспазы, участвующие в индукции апоптоза в фибробластах человека и нервных клетках при действии ТЗЧ.	2019, I	2020, IV
9	Изучение закономерностей формирования и репарации ДР ДНК в раковых клетках и нормальных клетках, расположенных вблизи опухоли, полученных от пациентов, проходящих радиотерапевтическое лечение.	2018, I	2020, IV
10	Изучение закономерностей формирования и элиминации ДР ДНК в клетках гиппокампа крыс <i>in vitro</i> с использованием первичной культуры гиппокампа, получаемой из крыс возраста P0-P1.	2018, I	2020, IV
11	Определение закономерностей формирования ДР ДНК при действии γ -квантов и ускоренных тяжелых ионов в нейронах ЦНС млекопитающих	2018, I	2019, IV
12	Исследование кинетики репарации ДР ДНК после действия γ -квантов и ускоренных тяжелых ионов в нейронах ЦНС млекопитающих.	2018, I	2019, IV
13	Изучение закономерностей формирования кластерных ДР ДНК при действии ТЗЧ в нейронах ЦНС млекопитающих.	2018, I	2020, IV
14	Исследование кинетики репарации кластерных ДР ДНК после действия ТЗЧ в нейронах ЦНС млекопитающих.	2018, I	2020, IV
15	Изучение влияния возрастных изменений ЦНС на индукцию повреждений в нейронах головного мозга млекопитающих при действии ионизирующих излучений разного качества.	2018, I	2020, IV
16	Изучение влияния возрастных изменений ЦНС на кинетику репарации ДР ДНК в нейронах головного мозга млекопитающих при действии ионизирующих излучений разного качества.	2018, I	2020, IV
17	Изучение закономерностей индукции и репарации ДР ДНК в нейронах ЦНС и лимфоцитах периферической крови млекопитающих при действии ионизирующего излучения разного качества в условиях влияния иммуномодуляторов.	2018, I	2019, IV
18	Исследование действия γ -квантов, протонов и ТЗЧ на нормальные (лимфоциты) и опухолевые (Cal51 клетки	2018, I	2020, IV

	карциномы) клетки человека классическим метафазным методом и FISH-методом.		
19	Исследование мутагенного действия редко- и плотно ионизирующих излучений на клетках млекопитающих (V-79) в отдаленные сроки после облучения. Молекулярный и цитогенетический анализ геномной нестабильность мутантных субклонов.	2018, I	2020, IV
20	Определение закономерностей индукции генных и структурных мутаций в клетках дрожжей при действии излучений с разными ЛПЭ.	2018, I	2020, IV
21	Проведение экспериментов по исследованию нарушений в клеточных элементах сетчатки, в первую очередь в глиальных клетках Мюллера и фоторецепторных клетках, при радиационном (гамма-излучения, ускоренных протонов, ТЗЧ) облучении глаза мышей.	2018, I	2020, IV
22	Исследование функциональных нарушений сетчатки глаза при регистрации её электрической активности после радиационного (гамма-излучения, ускоренных протонов, ТЗЧ) облучения глаза мышей.	2018, I	2020, IV
23	Исследование способности сетчатки глаза к восстановлению после фракционированного радиационного воздействия.	2018, I	2020, IV
24	Определение уровня АФК и АФА-протеинкиназы в в микроглиальных клетках SIM-A9 при действии γ -квантов, протонов и ТЗЧ.	2018, I	2019, II
25	Определение уровня выхода воспалительных цитокинов в микроглиальных клетках SIM-A9 при действии γ -квантов, протонов и ТЗЧ.	2019, III	2020, IV
26	Введение в эксплуатацию модернизированной установки для высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрохимической детекцией.	2018, I	2019, I
27	Исследование воздействия ионизирующих излучений разного качества на метаболизм основных возбуждающих (дофамин, гистамин, ацетилхолин, глутамат) и тормозных (ГАМК) нейротрансмиттеров в различных морфологических структурах головного мозга крыс и мышей.	2018, I	2020, IV
28	Исследование уровня тревоги, степени депрессивно-подобного поведения, эмоциональной реактивности, габитуации и обучения, базирующегося на функционировании рабочей и пространственной памяти, у крыс и мышей после воздействия ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками.	2018, I	2020, IV
29	Совершенствование флуорометрического метода определения активности каспазы-3 (маркера апоптотической гибели клеток) в тканях различных структур мозга крыс и мышей.	2018, I	2020, IV
30	Исследование связи между изменениями в работе основных нейротрансмиттерных систем и	2018, I	2020, IV

	апоптотической гибелью нейронов после облучения.		
31	Изучение радиационно-индуцированных изменений в функционировании определённых групп рецепторов (опиатных, дофаминовых, ацетилхолиновых, гистаминовых, рецепторов глутамата и ГАМК).	2019, II	2020, IV
32	Математическое моделирование процессов индукции и репарации ключевых типов повреждений ДНК тяжелыми заряженными частицами	2018, I	2019, IV
33	Математическое моделирование развития радиационно-индуцированного оксидативного стресса в нервных клетках	2018, I	2019, IV
34	Компьютерное моделирование формирования радиационно-индуцированных повреждений в клеточной мембране и цитоскелете	2018, I	2019, IV
35	Компьютерное моделирование формирования радиационно-индуцированных повреждений в мембранных ионных каналах и синаптических контактах	2018, I	2019, IV
36	Моделирование электрической активности нейронов различных типов и морфологии после радиационного поражения	2018, I	2020, IV
37	Моделирование электрической активности нейронных сетей префронтальной коры после радиационного поражения	2019, I	2020, IV
38	Моделирование электрической активности нейронных сетей гиппокампа после радиационного поражения	2019, I	2020, IV
39	Разработка математических моделей для предсказания радиационно-индуцированных нарушений когнитивных функций	2020, I	2020, IV
37	Физическая поддержка проводимых на ускорителях заряженных частиц радиобиологических экспериментов.	2018, I	2020, IV
38	Разработка методов исследования характеристик пучков тяжелых ионов и пучковой дозиметрии.	2018, I	2020, IV
39	Проектирование, тестирование и градуировка приборов ядерной планетологии	2018, I	2020, IV
40	Проектирование новых ядерно-физических установок ОИЯИ в части радиационной безопасности.	2018, I	2020, IV

Руководители Проекта

/Красавин Е.А./

/Тимошенко Г.Н./

Смета затрат по проекту «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий»

NN пп	Наименование статей затрат	Полная стоимость (тыс. долл)	1 год	2 год	3 год
	Прямые расходы на Проект				
1.	Материалы	429,9	136,5	142,2	151,2
2.	Оборудование	185,6	58,5	62,3	64,8
3.	Оплата НИР, выполняемых по договорам	-	-	-	-
4.	Командировочные расходы в т.ч.	150	50	50	50
	а) в страны нерублевой зоны				
	б) в города стран рублевой зоны				
	в) по протоколам				
	Итого по прямым расходам	765,5	245	254,5	266

Руководители Проекта

/Красавин Е.А./

/Тимошенко Г.Н./

Директор Лаборатории

/Красавин Е.А./

Ведущий инженер-экономист Лаборатории

/Леснинова И.Ю./