

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, член-корреспондент РАН,  
д.м.н., профессор

А.С. Самойлов

« 23 » *август* 2021 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального Государственного Бюджетного Учреждения  
«Государственный научный Центр Российской Федерации –  
Федеральный медицинский биофизический центр  
имени А. И. Бурназяна»**

Диссертация Овчинникова Александра Викторовича на тему «Разработка метода по оценке дозы внутреннего облучения персонала при поступлении радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 – «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)» прикреплена для выполнения к диссертационному совету Д 462.001.02 при ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России на базе лаборатории Дозиметрии инкорпорированных радионуклидов отдела Промышленной радиационной гигиены и Отдела радиационной безопасности АО «СХК».

В период подготовки диссертации соискатель Овчинников Александр Викторович работал в должности инженера по дозиметрическому контролю группы индивидуального дозиметрического контроля отдела радиационной безопасности АО «СХК» с 2014 по настоящее время.

В 2014 г. он окончил ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» с присуждением квалификации «инженер-физик» по специальности «Безопасность и нераспространение ядерных материалов». В 2018 окончил аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по специальности «03.06.01 Физика и астрономия».

Научный руководитель: Измestьев Константин Михайлович, кандидат физико-математических наук, заместитель технического директора АО «СХК».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Актуальность темы исследования**

Реакторы на быстрых нейтронах являются новым поколением реакторов, которые в будущем могут полностью заменить собой современные реакторы, работающие на тепловых нейтронах. Реакторы такого типа используют в качестве топлива смесь урана и плутония, что позволяет нарабатывать дополнительные количества плутония, достаточные для повторного обеспечения реакторов топливом.

В настоящее время существует несколько различных вариаций топлива, которое может быть использовано в реакторах на быстрых нейтронах, например, МОКС- или СНУП-топливо. Несмотря на их технические различия, общим является необходимость выделения фракции плутония и её последующее использование при фабрикации топливных элементов.

Работа предприятий, занимающихся переработкой ОЯТ, и заводов по фабрикации топлива, содержащего изотопы плутония, сопровождается поступлением радиоактивных веществ в воздух рабочих помещений и их осаждением на поверхности помещений, оборудования, инструментов, приборов, спецодежды и т.п.

В реальной практике работы человека с открытыми источниками, содержащими плутоний, нужно учитывать несколько наиболее значимых путей поступления в организм данного радионуклида: ингаляционный, поступление через кожные покровы (включая неповрежденную кожу и «раневой» путь поступления), а также пероральный путь поступления. В результате обслуживающий персонал может получить значительные дозы внутреннего облучения.

Опыт эксплуатации радиохимических и химико-металлургических заводов свидетельствует о том, что наиболее часто актиниды поступают в организм работников ингаляционным путем. Однако, анализ доз внутреннего облучения персонала различных предприятий (например, таких как ПО «Маяк» и АО «СХК») позволяет утверждать, что за последние десятилетия хроническое ингаляционное поступление радионуклидов с промышленными аэрозолями не приводит к значительному переоблучению персонала.

В то же время существующие производственные условия не позволяют полностью исключить случаи поступления радионуклидов через поврежденные кожные покровы. Частота возникновения таких случаев высока и наряду с ингаляционным поступлением, «раневой» путь поступления радиоактивных веществ является основным для производственных и лабораторных условий. Так, в литературе встречаются сообщения о 1250 случаях подкожного поступления радионуклидов, произошедших в Виндскейле

(Schofield G.B., 1964), 230 случаях в Хэйфорде (Jech J.J. et al., 1969), 148 случаях ранений с альфа-излучателями в Карлзруе (Ohlenschlager L., 1970), 137 ранениях, потенциально загрязненных трансураниевыми элементами в Лос Аламосе (Johnson L.J., Lawrence J.N.P., 1974), 385 случаях, произошедших на «Маяке» (Vazhin A.G. et al., 1994) и 200 случаях в АО «СХК» (Ovchinnikov A.V. et al., 2016). Также существует большое количество единичных сообщений о поступлении радионуклидов через поврежденные кожные покровы (Thompson R.C., 1976).

Чаще всего «раневые» случаи представляют наибольшую опасность (Маслюк А.И. и др., 2005), так как количество одновременно поступающих напрямую в кровь радионуклидов может быть велико. Для оценки степени риска возникновения неблагоприятных последствий определяют такие дозиметрические параметры, как поступление и ожидаемая эффективная доза (ОЭД) внутреннего облучения. Правильная их оценка позволяет выбрать наиболее эффективную программу медицинского сопровождения для каждого случая в отдельности. Используемые в настоящее время медицинские техники сводятся либо к хирургическому иссечению загрязненных радионуклидами тканей для предотвращения дальнейшего поступления, либо к использованию различных препаратов для ускорения процесса выведения радионуклидов из организма. Помимо медицинского сопровождения пациента, знание дозы внутреннего облучения, полученной человеком в результате поступления радионуклидов через поврежденные кожные покровы, позволяет корректировать его дальнейшую трудовую деятельность.

В некоторых случаях дозы внутреннего облучения настолько велики, что дальнейшая работа человека в контакте с радиоактивными веществами должна быть полностью исключена, а в некоторых случаях, несмотря на высокие уровни поступления радионуклидов, человек может продолжать работать в прежних условиях, но с установлением индивидуальных контрольных уровней. Таким образом, определение величины поступления и ОЭД внутреннего облучения является важнейшей задачей, которая должна решаться, начиная с первых часов после выявления случаев «раневого» поступления.

Определение значений поступления и ОЭД на указанных выше производствах, является нетривиальной задачей, которая усложняется еще тем, что в чрезвычайных ситуациях, связанных с повышенным облучением, для снижения дозовых нагрузок человеку назначают медицинские препараты, ускоряющие выведение радионуклидов, что

может полностью изменять естественные процессы их обмена и выведения, протекающие в человеческом организме.

В настоящее время выделяют две основные группы методов, позволяющие производить индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения человека.

Первая группа методов – методы косвенной дозиметрии, которые предполагают измерение радионуклидов, содержащихся в суточной экскреции пациента.

Вторая группа методов - представлена методами прямой дозиметрии, которые основываются на непосредственном измерении содержания радионуклидов в тех или иных органах и тканях человека. Такие методы являются более надёжными по сравнению с косвенными, так как предоставляют широкие возможности по измерению активности радионуклидов, содержащихся сразу в нескольких ключевых органах и тканях человека (основные органы депонирования для плутония и америция – печень, костные ткани, лимфатические узлы).

Несмотря на перспективность второй группы методов, для случаев поступления плутония почти всегда используется исключительно методы косвенной дозиметрии. Этот факт обусловлен тем, что обладающий высокой альфа-активностью плутоний почти не имеет гамма-линий, которые могли бы быть измерены напрямую.

Однако, плутоний имеет дочерний продукт распада – америций, который почти всегда поступает в организм человека вместе с родительским радионуклидом и имеет измеримую гамма-линию 59,6 кэВ. Таким образом, при условии использования достаточно точного оборудования, применение прямых методов контроля для случаев поступления плутония через поврежденные кожные покровы является доступным и представляется более эффективным для определения необходимых дозиметрических параметров.

Несмотря на то, что вопрос о выполнении прямых измерений плутония по его дочернему продукту распада америцию представляется возможным, существует ряд методических проблем, связанных с интерпретацией таких измерений. Например, описанию особенностей выведения плутония под воздействием медицинских препаратов (прежде всего препарата – «пентацин») в настоящее время посвящено лишь небольшое количество научных работ (Щадилов А.Е., 2010; Konzen K., 2014; Breustedt B. et al, 2009), а для описания аналогичных процессов, происходящих с америцием, вообще отсутствуют какие-либо математические модели.

Отсутствие подобных исследований во многом обусловлено ограниченным количеством экспериментальных данных. Сбор необходимых статистических данных возможен только в случае возникновения реальных случаев поступления радионуклидов америция и плутония через поврежденные кожные покровы у персонала плутониевых производств.

Подобные наблюдения производились, например, в АО «СХК» (Богданов И.М. и др., 2018; Измествев К.М. и др., 2018), где за последние 5 лет произошло 10 таких случаев, а по 6 из них удалось собрать большое количество результатов измерений.

Таким образом, настоящая работа направлена на решение имеющихся методических проблем в области дозиметрического контроля поступления америция и плутония через поврежденные кожные покровы, путём исследования случаев, произошедших в реальных производственных условиях у персонала АО «СХК».

**Цель** данного исследования заключается в совершенствовании систем и средств мониторинга чрезвычайных ситуаций путём разработки метода оценки дозы внутреннего облучения персонала при поступлении радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы с учётом эффектов от применения препарата «пентацин» в сочетании с хирургическим иссечением мягких тканей.

#### **Научная новизна:**

1. Разработан методический подход к обработке результатов косвенных и прямых измерений радионуклидов плутония и америция в организме персонала, позволяющий:

– выполнять анализ и оптимизацию констант переноса камерных биokinетических моделей с одновременным учётом результатов наблюдений, накапливаемых в ходе дозиметрического сопровождения сразу нескольких случаев поступления америция и плутония через повреждённые кожные покровы; при этом, уточнение констант переноса основывается на использовании всех возможных результатов измерений, выполняемых прямыми и косвенными методами;

– осуществлять сравнение (по степени сходимости с результатами дозиметрических наблюдений) различных камерных биokinетических моделей между собой;

– выполнять расчёты нормируемых дозиметрических величин, необходимые для проведения мероприятий по ограничению и оптимизации облучения персонала.

2. Впервые предложены параметры камерной биокинетической модели для описания обмена хелатируемого америция, поступившего вместе с радионуклидами плутония во внутренние органы и ткани человека через повреждённые кожные покровы.

Использование такой модели позволяет дополнить комплексный анализ данных, накапливаемых в ходе дозиметрического сопровождения случаев поступления радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы, результатами прямых измерений содержания америция в печени и лимфатических узлах, а также использовать для анализа результаты определения суммарной активности америция и плутония в месте повреждения кожного покрова и суточном количестве мочи.

3. Разработан метод контроля внутреннего облучения при поступлении америция и плутония через повреждённые кожные покровы, верифицированный на примере случаев поступления радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы у персонала АО «СХК», включающий:

– рекомендации по организации радиационного контроля (включающего выбор контрольной группы персонала, периодичности контроля, измерительного оборудования и методов выполнения измерений и т.п.) на предприятии в части выявления и дозиметрического сопровождения случаев поступления радионуклидов через повреждённые кожные покровы;

– рекомендации по выполнению последовательной оценки величин поступления и доз внутреннего облучения с учётом введения препарата «пентацин» и хирургического иссечения мягких тканей.

### **Практическая значимость**

В результате проведённого исследования разработан расчетно-измерительный комплекс для анализа и расчета доз внутреннего облучения в случаях поступления радионуклидов через повреждённые кожные покровы, который может быть использован в практике работы плутониевых производств.

Расчетно-измерительный комплекс основывается на предложенной в настоящей работе модели для описания обмена хелатируемого америция, что позволяет включить в программу расчета доз прямые измерения содержания радионуклидов во внутренних органах и тканях.

Расчетно-измерительный комплекс позволяет не только проводить расчет величин поступления радионуклидов плутония и америция в рану и соответствующую ОЭД, но и может быть использован для оценки годового поступления указанных радионуклидов во

внутренние органы и ткани и реализованной эффективной дозы, получаемой пациентом в течение любого календарного года, последующего моменту поступления в рану. Данная особенность позволяет ежегодно уточнять дозу внутреннего облучения в зависимости от применения долгосрочного медицинского сопровождения работника. Такой подход позволяет наиболее гибко корректировать трудовую деятельность работника путём ежегодного пересмотра и установления индивидуальных контрольных уровней.

### **Внедрение результатов в практику**

Разработанный метод контроля внутреннего облучения при поступлении америция и плутония через повреждённые кожные покровы внедрён в практику контроля внутреннего облучения персонала АО «СХК» (ежеквартальное обследование работников АО «СХК» на установке СИЧ на предмет поступления радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы). По результатам выполнения расчётов произведена оценка реализованных эффективных доз для шести случаев поступления радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы, произошедших в АО «СХК» за последнее десятилетие.

**Личное участие автора в получении научных результатов**, изложенных в диссертации при планировании, организации и проведении исследований по всем разделам и этапам работы доля участия соискателя составила не менее 80%.

Основные научные результаты и выводы, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций глубокое изучение и анализ отечественной (18 источников) и зарубежной (60 источников) литературы позволили автору диссертации получить объективное представление о состоянии изучаемой проблемы, определить цель, задачи и методы исследования.

В ходе исследования были разработаны следующие **положения, выносимые на защиту**:

1. Основанный на принципе камерных биокинетических моделей методический подход к обработке результатов косвенных и прямых измерений радионуклидов плутония и америция в организме персонала, позволяющий проводить уточнение основных параметров таких моделей и выполнять расчёты нормируемых дозиметрических величин.

Для разработанного методического подхода проведена верификация, заключающаяся в сравнении результатов расчётов дозовых коэффициентов для

естественного обмена плутония, выполненных с применением разработанного методического подхода, с альтернативными расчётами, выполненными в работе (Toohey R.E., 2014). По результатам верификации показано, что расхождение результатов составило не более 0,5%.

2. Параметры модели для описания обмена хелатируемого америция, поступившего вместе с радионуклидами плутония во внутренние органы и ткани человека через повреждённые кожные покровы.

Верификация предложенной модели для описания обмена хелатируемого америция на примере шести случаев, произошедших в АО «СХК», показала удовлетворительные результаты в ходе проведения статистической проверки модели по критерию согласия хи-квадрат, а также по результатам проведения автокорреляционного анализа.

3. Метод контроля внутреннего облучения при поступлении америция и плутония через повреждённые кожные покровы, верифицированный на примере случаев поступления радионуклидов америция и плутония через поврежденные кожные покровы у персонала

АО «СХК».

Верификация разработанного метода радиационного контроля произведена на примере шести случаев, произошедших в АО «СХК». По результатам верификации показана принципиальная возможность применения разработанного метода для своевременного выявления обозначенных случаев и проведения для них комплексного анализа дозиметрических данных.

Таким образом, все научные положения, выносимые на защиту, являются четко сформулированными, прошли процедуру верификации и являются достаточно обоснованными. Выводы полностью соответствуют сформулированным задачам.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена корректным использованием математического аппарата и адекватностью разработанных методов, которые подтверждены в ходе проведения верификации для каждого из выносимых на защиту положений.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности В соответствии с формулой специальности 05.26.02 – «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)», охватывающей проблемы совершенствования систем и средств мониторинга чрезвычайных ситуаций (п. 8), в диссертационном исследовании представлен метод по оценке дозы внутреннего облучения персонала при поступлении радионуклидов америция

и плутония через повреждённые кожные покровы с учётом эффектов от применения препарата «пентадин» в сочетании с хирургическим иссечением мягких тканей.

#### **Полнота опубликования в печати**

Материалы диссертационной работы опубликованы в 3-х статьях: в Российских изданиях, рекомендуемых ВАК для защиты кандидатских диссертаций – 2, в зарубежных изданиях, индексируемых в Scopus – 1:

1. Ovchinnikov A.V., Izmaytyev K.M., Demyanyuk D.G., Krivoshein D.D., Poluektov S.Yu. The Organization of the Internal Irradiation Monitoring System in Conditions of Nonstandard Radionuclide Intakes, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 135 (2016) 012034

2. Богданов И.М., Зайцев Е.П., Овчинников А.В., Кривошеин Д.Д., Изместьев К.М., Организация системы контроля и вопросы медико-санитарного сопровождения персонала в условиях поступления радионуклидов плутония и америция через повреждённые кожные покровы / Медицина экстремальных ситуаций. Научно-практический рецензируемый журнал ФМБА России, 2018 (март).

3. Изместьев К.М., Овчинников А.В. Анализ поступления радионуклидов Am и Pu через повреждённые кожные покровы работников АО «СХК»; с точки зрения биокинетической модели, приведённой в публикации №156 НКРЗ / Вопросы радиационной безопасности, №1, Озёрск, 2018

**Результаты исследований были представлены и обсуждены** на VII и VIII Международных научно-практических конференциях «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (Томск, НИ ТПУ, 2015 и 2016 годы), на отраслевой научно-практической конференции молодых специалистов и аспирантов «Молодёжь ЯТЦ: наука, производство, экологическая безопасность» (Железногорск, ФГУП «ГХК», 2015), в ходе заседания Совета по методическому обеспечению радиационной безопасности предприятий Госкорпорации «Росатом» (Озёрск, ФГУП «ПО «Маяк» 2018), а также в рамках конкурса «Инновационный лидер атомной отрасли-2019» (Москва, Госкорпорация «Росатом», 2019).

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включённым в диссертацию.

На диссертационную работу и автореферат получено разрешение АО «СХК» на информационный обмен от 20.04.2021 № 4/30-2021.

## Заключение

Диссертационная работа Овчинникова А.В. на тему «Разработка метода по оценке дозы внутреннего облучения персонала при поступлении радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы» является законченной научно-квалификационной работой и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация соответствует требованиям п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Диссертация Овчинникова А.В. на тему «Разработка метода по оценке дозы внутреннего облучения персонала при поступлении радионуклидов америция и плутония через повреждённые кожные покровы» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 – «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)».

Заключение принято на совместном заседании секции отдела № 4 Промышленной радиационной гигиены Ученого совета ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им А.И. Бурназяна ФМБА России и Отдела радиационной безопасности и Отдела по обращению с радиоактивными отходами научно-технического совета АО «СХК» в режиме ВКС.

Присутствовало на заседании 31 человек, в том числе 19 чел., имеющих ученую степень. Результаты голосования: «за» 19 чел. «против» 0, воздержалось – 0.

Решение принято единогласно (протокол от 22.04.2021 № 4).

Председатель секции № 4 Ученого совета,  
Заведующий отделом Промышленной радиационной гигиены  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им А.И. Бурназяна  
ФМБА России  
Доктор технических наук



Шинкарев Сергей Михайлович

Подпись д.т.н. заведующего отделом № 4 Шинкарева С.М., заверяю:

Ученый секретарь ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им А.И. Бурназяна ФМБА России

Кандидат медицинских наук



Голобородько Евгений Владимирович

