

"УТВЕРЖДАЮ"

Генеральный директор ФГБУ ГНЦ ФМБЦ

им. А.И. Бурназяна, д.м.н.

А.С. Самойлов

«27» октября 2017 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –**

**Федеральный медицинский биофизический центр**

**имени А. И. Бурназяна»**

**Федерального медико-биологического агентства**

Диссертация Чижова Константина Алексеевича на тему «Обеспечение мониторинга доз внешнего облучения персонала с помощью информационно-аналитических систем» на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.01.01 – «Радиобиология» выполнена на базе отдела №3 «Радиационной безопасности населения» ФГБУ ГНЦ ФМБЦ имени А. И. Бурназяна ФМБА России.

В период подготовки диссертации соискатель Чижов Константин Алексеевич работал в должности инженера с 2009 по 2014 гг., в должности научного сотрудника с 2014 г. по настоящее время.

С 2010 г. Чижов К.А. является соискателем отдела №3 «Радиационной безопасности населения» ФГБУ ГНЦ ФМБЦ имени А. И. Бурназяна ФМБА России. В 2009 г. он окончил «Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет)» с присуждением квалификации «инженер-физик» по специальности «Радиационная безопасность человека и окружающей среды».

Научный руководитель: Крючков Виктор Петрович кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### **Актуальность темы исследования**

Активное развитие во второй половине XX века ядерного оружейного комплекса и атомной энергетической промышленности СССР, а затем и Российской Федерации привели к образованию более  $5 \cdot 10^8$  т радиоактивных отходов (РАО), главным образом в результате оборонной деятельности (Большов, 2013), и  $18,8 \cdot 10^3$  т отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) (Лебедев, 2011). Отсутствие правовых требований по захоронению накопленных и вновь образующихся РАО, необходимой инфраструктуры, отсутствие значимых стимулов к снижению образования РАО привели к тому, что подавляющая часть накопленных РАО до сих пор хранится в местах их образования (Большов, 2013).

В настоящее время ведутся работы по реабилитации объектов ядерного наследия, как в Российской Федерации, так и за рубежом (Большов, 2012, 2013, 2015, Шандала, 2013). В нашей стране обеспечение радиационной безопасности персонала при таких работах должно выполняться в соответствии с санитарными правилами и нормами (ОСПОРБ-99/2010, НРБ-99/2009), а также в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Ситуация облучения на объектах ядерного наследия характеризуется как сочетание ситуации существующего облучения и ситуации планируемого профессионального облучения (Sneve, 2018). Для обеспечения радиационной безопасности персонала в ситуации существующего облучения МКРЗ рекомендует, чтобы референтные уровни, установленные по индивидуальной дозе облучения, использовались в сочетании с внедрением процесса оптимизации. Более того, принципы защиты в ситуациях планируемого облучения применимы и к плановым работам, выполняемым в связи с ситуациями существующего облучения и

аварийными ситуациями, с того момента, когда аварийная ситуация была взята под контроль (Публикации МКРЗ №103, 2007), т.е. при ликвидации последствий крупной аварии в отдалённый период времени: на средней (промежуточной) и поздней фазах развития радиационной аварии (Ильин, 2005).

В ситуациях существующего облучения эффективность обеспечения радиационной безопасности персонала, а также точность оценки индивидуальных доз облучения персонала, могут быть существенно повышены с использованием специализированных компьютерных программ – информационно-аналитических систем (ИАС). Существующие ИАС решают в основном задачу восстановления характеристик радиационных полей (дозы и мощности дозы облучения, уровней радиоактивного загрязнения) по результатам измерений, выполненных в реперных точках для всех зон и территорий, подвергшихся радиационному загрязнению, включая рабочие помещения радиационно опасного объекта (Подберезный, 2005; Kryuchkov, 2009; Труды ИБРАЭ РАН, 2013). При этом для решения задачи построения карты радиационной обстановки (РО) выбор метода интерполяции результатов радиометрического обследования (РМО) требует серьезного обоснования с учётом радиационного объекта и условий его размещения. Даже в пределах одной территории значения контролируемых радиационных параметров могут варьироваться в широких пределах.

Опыт показывает, что внешнее облучение часто вносит существенный вклад в дозы персонала, участвующего в реабилитационных работах на радиоактивно загрязненной территории (Kryuchkov, 2009; Шандала 2013). Поэтому важной задачей является разработка и внедрение методов минимизации доз внешнего облучения персонала, проводящего реабилитационные работы, в соответствии с принципом ALARA (Simakov, 2008). Актуальным является решение задачи о поиске оптимальных маршрутов перемещения персонала (Глушкина, 1998; Liu, 2016). Например, во время ликвидации последствий аварии на ЧАЭС передвижение групп

ликвидаторов по кратчайшему маршруту не являлось оптимальным, что привело к набору более 70% коллективной дозы на средней фазе аварии, так как выбранный маршрут пересекал след от выброса (Крючков, 2011).

Практическое применение ИАС актуально для объекта ядерного наследия: Центра по обращению с радиоактивными отходами – отделения губа Андреева Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» – филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (отделение губа Андреева СЗЦ «СевРАО»). В феврале 1982 г. на данном объекте произошла радиационная авария – утечка радиоактивной воды из бассейна хранилища отработавших тепловыделяющих сборок. Ликвидация аварии проводилась с 1983 по 1989 гг., за это время в Баренцево море поступило несколько тысяч тонн радиоактивной воды. В 2002 г., на момент начала работ по реабилитации, практически все здания и сооружения объекта были аварийными, находились в процессе деградации и непрерывно загрязняли окружающую среду (Шандала, 2013). Реабилитация объекта продолжается и в настоящее время (Dowdall, 2009; Sneve, 2015; Романович, 2017), создаётся соответствующая инфраструктура для вывоза ОЯТ и РАО. Изучение опыта работ, проводимых для реабилитации отделения губа Андреева СЗЦ «СевРАО», а также методов радиационного мониторинга на предприятии позволило сформулировать цель исследования.

**Целью исследования** является дальнейшее развитие методов радиационного мониторинга и контроля радиационной обстановки, обеспечение радиационной безопасности персонала при обращении с РАО и ОЯТ.

#### **Научная новизна:**

1. Впервые разработан метод оптимальной локализации точек радиационного контроля и мониторинга поиском локальных максимумов градиента грида радиационной обстановки и кросс-валидацией.

2. Впервые для ситуаций существующего облучения построена тепловая карта распределения коллективной дозы по маршрутам передвижения персонала путём фрагментации маршрутов на элементарные ячейки с определённой дозой облучения.

3. Впервые для ситуации существующего облучения разработан метод минимизации доз внешнего облучения персонала путём нахождения оптимальных маршрутов передвижения персонала.

4. Впервые применение метода декомпозиции временных рядов для анализа радиационной обстановки позволило выявить трендовую, сезонную и остаточную компоненты временного ряда интеграла МАЭД.

5. Впервые путём численного решения уравнения Фредгольма 1-го рода методом регуляризации Тихонова решена задача построения карт плотности поверхностного радиоактивного загрязнения в рабочих помещениях и на промышленной площадке радиационно опасного объекта по результатам измерений МАЭД.

6. Впервые разработана процедура оптимизации радиационной защиты персонала при обращении с РАО и ОЯТ путём динамического трёхмерного моделирования радиационной обстановки в виртуальной среде.

### **Практическая значимость**

Результаты диссертационного исследования применены при оптимизации радиационного контроля и мониторинга, минимизации доз облучения персонала при проведении работ в рамках Российско-Норвежского сотрудничества на объектах ядерного наследия в Северо-Западном регионе России, а также показаны в исследовательских противоаварийных учениях «Организация медико-санитарного обеспечения и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ по ликвидации последствий радиационной аварии при обращении и транспортировке отработавшего ядерного топлива» в отделении губа Андреева СЗЦ «СевРАО», проведённых 1-3 июня 2016 г.

### **Внедрение результатов в практику**

Разработанные методы и процедуры вошли в Методические указания МУ 2.6.5.054–2017 «Оптимизация радиационной защиты персонала

предприятий ГК «Росатом». Разработанное программное обеспечение Rockville (сертификат соответствия ГОСТ Р № 0629667), EasyRAD (сертификат соответствия ГОСТ Р № 1564318) и Andreeva Planner внедрено в отделение губа Андреева СЗЦ «СевРАО» (протоколы установки программного обеспечения от 19 декабря 2013 г. и 19 мая 2014 г.), Межрегиональное управление №120 ФМБА России (акты внедрения от 20 декабря 2013 г. и 28 мая 2014 г.) и в Аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Программное обеспечение Rockville использовалось в эпидемиологических исследованиях Национального института рака, США (письмо от начальника отдела исследования аварии на ЧАЭС Киохико Мабучи, 7 февраля 2017 г.).

### **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 (72 источника) и зарубежной (73 источника) литературы позволили автору диссертации получить объективное представление о состоянии изучаемой проблемы, определить цель, задачи и методы исследования.

На основании результатов проведенного исследования были разработаны методы и методики, позволяющие проводить радиационный мониторинг и контроль. А также, методы и методики, позволяющие обеспечивать радиационную безопасность персонала при обращении с РАО и ОЯТ.

Для построения карт РО по данным радиационного контроля и мониторинга использованы методы нелинейной интерполяции данных

(Демьянов, 2010), для построения карт плотности поверхностного радиоактивного загрязнения – алгоритм численного решения уравнения Фредгольма 1-го рода методом регуляризации Тихонова (Тихонов, 1965). Оценка неопределенности полученных карт РО и доз облучения, выражена через величину геометрического стандартного отклонения (ГСО) в соответствии с методологией RADRUE (Kryuchkov, 2009). Метод минимизации доз внешнего облучения персонала при передвижении по загрязнённой территории разработан на основе теории графов (Харари, 1973), оценка неопределённости выполнена с применением теории нечётких множеств (Chuang, 2005). Для анализа динамики РО использовался метод декомпозиции временных рядов процедурой сезонно трендовой декомпозиции на основе локальных полиномиальных регрессий (Cleveland, 1990). Приведённые методы и алгоритмы реализованы в виде компьютерных программ на современных языках программирования. Для планирования работ по обращению с РАО и ОЯТ с применением технологии динамического трёхмерного моделирования сценариев в виртуальной среде использована компьютерная программа Andreeva Planner (Szöke, 2014).

Научные положения, выносимые на защиту, достаточно обоснованы и четко сформулированы.

Выводы полностью соответствуют сформулированным задачам.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обусловлена корректным использованием математического аппарата, адекватностью разработанных методов, которые подтверждены результатами сравнений расчётов в компьютерных программах с данными инструментальной дозиметрии сотрудников отделения губа Андреева СЗЦ «СевРАО».

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

В соответствии с формулой специальности 03.01.01 – «Радиобиология», охватывающей проблемы последствий ядерных катастроф (п. 9), принципы и методы радиационного мониторинга, а также проблемы радиационной безопасности (п. 10), в диссертационном исследовании

представлены методы, позволяющие обеспечить требования к радиационной безопасности персонала при обращении с РАО и ОЯТ.

### **Полнота опубликования в печати**

Материалы диссертационной работы опубликованы в 5-ти статьях в отечественных журналах списка ВАК:

1. Uiba V.V., Sneve M.K., Samoylov A.S., Shandala N.K., Simakov A.V., Kiselev S.M., Siegien-Iwaniuk K., Semenova M.P., Belskikh Y.S., Kryuchkov V.P., **Chizhov K.A.**, Smith G.M. Regulation of the Spent Nuclear Fuel Management at the Andreeva Bay Site for Temporary Storage on the Kola Peninsula // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2017. – Т.62. – №4.—С.12–16.

2. **Чижов К.А.**, Мазур И.К., Кудрин И.Д., Шинкарев С.М., Цовьянов А.Г., Крючков В.П., Кемский И.А. Информационно-аналитическая система по обеспечению радиационной безопасности персонала // Аппаратура и новости радиационных измерений. – 2016. – № 2(85)—С. 41–47.

3. **Чижов К.А.**, Симаков А.В., Сзоке И., Мазур И.К., Марк Н.-К., Кудрин И.Д., Шандала Н.К., Краснощёков А.Н., Косников А.С., Кемский И.А., Снеге М., Смит Г., Крючков В.П. Виртуальная реальность как инструмент повышения культуры безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60. – № 3—С. 32–40.

4. **Чижов К.А.** Программы трёхмерного моделирования для оптимизации дозовых нагрузок персонала при проведении радиационно-опасных работ // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 3(55)—С. 22.

5. **Чижов К.А.**, Симаков А.В., Крючков В.П. Метод решения аналитических задач для обеспечения радиационной безопасности персонала при планировании работ по ликвидации последствий аварии на основе интерполяции дозиметрических данных // Аппаратура и новости радиационных измерений. – 2013. – № 2(73)—С. 70–76.

И других публикациях:

6. **Chizhov K.**, Sneve M.K., Shandala N., Siegien-Iwaniuk K., Smith G., Krasnoschekov A., Kosnikov A., Grigoriev A., Simakov A., Kemskey I.,

Kryuchkov V. Radiation situation dynamics at the Andreeva Bay site for temporary storage of spent nuclear fuel and radioactive waste over the period 2002–2016 (Принята к публикации в J. Radiol. Prot. №2, 2018 г.).

7. **Chizhov K.**, Sneve M.K., Shinkarev S., Tsovyanyov A., Smith G.M., Krasnoschekov A., Kosnikov A., Kemsky I., Kryuchkov V. Methods of Minimising Doses Incurred by External Exposure While Moving in Radiation Hazardous Areas // J. Radiol. Prot. – 2017. – V. 37. – №3—P. 697–714.

8. **Chizhov K.**, Kryuchkov V., Mark N.K., Szoeke I., Sneve M.K., Smith G. Surface contamination activity reconstruction based on measurements of ambient dose equivalent rate (NEA-RWMC-WPDD--2017-02) / Workshop on Current and Emerging methods for Optimising Safety and Efficiency in Nuclear Decommissioning. – Sarpsborg, Norway, February 7-9, 2017.—19 p.

9. **Chizhov K.**, Sneve M.K., Szőke I., Mazur I., Mark N.-K., Kudrin I., Shandala N., Simakov A., Smith G.M., Krasnoschekov A., Kosnikov A., Kemsky I., Kryuchkov V. 3D Simulation as a Tool for Improving the Safety Culture During Remediation Work at Andreeva Bay // J. Radiol. Prot. – 2014. – V. 34. – №4—P. 755–773.

10. **Chizhov K.**, Mazur I., Kryuchkov V., Kurdin I., Sneve M.K. User Interface Features of Information-Analytical System for Radiation Safety of Personnel on the Example of Northwest Center for Radioactive Waste Management "SevRAO" / Waste Management symposium. – Phoenix, USA, March 2–6, 2014.—13 p.

11. **Chizhov K.**, Simakov A., Seregin V., Kudrin I., Shandala N., Tsovyanyov A., Kryuchkov V., Krasnoschekov A., Kosnikov A., Kemsky I., Sneve M. Implementation of Information Management System for Radiation Safety of Personnel at the Russian Northwest Center for Radioactive Waste Management "SevRAO" / Waste Management symposium. – Phoenix, USA, February 24–28 2013.—10 p.

12. **Chizhov K.**, Kudrin I., Bakhanova E., Bondarenko P., Golovanov I., Drozdovitch V., Chumak V., Kryuchkov V. Method of comparison of actions of the liquidators of the accident on Chernobyl Nuclear Power Plant on the basis of

fragmentation of their routes and encryption it in a form similar to the DNA //The R User Conference. – Albacete, Spain, July 10–12, 2013. – V. 10. – №. 30. – P. 19.

13. Крючков В.П., Кочетков О.А., Цовьянов А.Г., Симаков А.В., Кухта Б.А., Панфилов А.П., Тимофеев Л.В., Мазурик В.К., Голованов И.А., **Чижов К.А.** Авария на ЧАЭС: Дозы облучения участников ЛПА: аварийный контроль, ретроспективная оценка — М.: Типография ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. 2011.—280 с.

14. Mark N.-K., Szöke I., Gustavsen M., Nystad E., Bratteli J., Bryntesen, S.T. Edvardsen T.-R., Kryuchkov V., **Chizhov K.**, Tesnov I., Sneve M.K. Use of Virtual Reality Technology for Radiation Visualisation and Real-Time Dose Calculation during the Remediation at Andreeva Bay in Russia / Enlarged Halden Programme Group Meeting. – Sandefjord, Norway, October 2–7, 2011.—11 p.

15. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Крючков В.П., **Чижов К.А.** Вопросы обеспечения радиационной безопасности при выводе из эксплуатации радиационных объектов // Международный научно-практический журнал «Безопасность ядерных технологий и окружающей среды» – 2011. – № 3.—С. 110-112.

Основные результаты диссертации были доложены и обсуждены на 13-ти российских и международных конференциях.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенным в диссертацию. Присвоение пометки «Для служебного пользования» не является необходимым.

### **Заключение**

Диссертационная работа Чижова К.А. на тему «Обеспечение мониторинга доз внешнего облучения персонала с помощью информационно-аналитических систем» 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 Чижова К.А. на тему «Обеспечение мониторинга доз внешнего облучения персонала с помощью информационно-аналитических систем» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.01.01 – «Радиобиология».

Заключение принято на расширенном заседании секции №3 Учёного совета государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна».

Присутствовало на заседании 35 человек, в том числе 20 чел., имеющих ученую степень. Результаты голосования: «за» – 34 чел. «против» – нет, воздержалось – 1. Решение принято большинством голосов (протокол № 11 от 13 декабря 2017 г.).

Председатель секции

Заместитель генерального директора  
по науке и биофизическим технологиям,  
доктор медицинских наук

Н.К. Шандала

Подпись доктора медицинских наук Шандалы Наталии Константиновны заверяю:

Ученый секретарь  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ  
им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
Кандидат медицинских наук

Е.В. Голобородько

