

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Уткина Сергея Сергеевича

о диссертационной работе Назарова Евгения Игоревича «Совершенствование методов обоснования радиационной безопасности от выброса углерода-14 при нормальной эксплуатации предприятий атомной отрасли», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

### Актуальность темы

Автором поднят ряд новых вопросов, касающихся выбросов углерода-14 предприятиями атомной отрасли. Развитие новых технологий в отрасли, направленных, в частности, на заметное сокращение радиационного воздействия на окружающую среду, заметно изменило вектор научных исследований, обращая все большее внимание на долгосрочные прогнозы. На сегодняшний день долгоживущий  $^{14}\text{C}$  стал одним из основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС с реакторными установками любого типа, а также заводов по переработке ядерного топлива. И хотя уровень этих выбросов не вызывает серьезного беспокойства за здоровье нынешних поколений, поведение этого изотопа в окружающей среде, его постепенное накопление в мобильной биосфере представляют несомненный научный интерес. Планируемое использование нитридного топлива в технологии замкнутого ядерного топливного цикла, реализуемого Госкорпорацией «Росатомом» в рамках проекта «Прорыв» может привести к росту  $^{14}\text{C}$  в окружающей среде. Кроме того, по-прежнему, квалифицированная оценка радиологического воздействия выбросов  $^{14}\text{C}$  на объекты окружающей среды и человека является мощным аргументом в подтверждении безопасности эксплуатации ядерных установок.

Следует отметить актуальность защищаемых Е.И. Назаровым положений:

1. Необходимость учета органических соединений радиоуглерода, а также угарного газа в выбросах предприятий.
2. Предложения по совершенствованию регулярного мониторинга источника выбросов  $^{14}\text{C}$ , а также объектов окружающей среды, подверженных радиационному воздействию этого изотопа.

3. Освоение и практическая реализация методов ретроспективного анализа загрязнения атмосферы  $^{14}\text{CO}_2$ , измеряя радиоактивный изотоп в древесных кольцах деревьев.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие задачи:

1. Модифицирован метод и разработан специальный пробоотборный стенд одновременного отбора  $^{14}\text{C}$  в различных химических формах в выбросах предприятий атомной отрасли.
2. Разработан метод ретроспективной оценки годового выброса  $^{14}\text{C}$  ядерными реакторами различного типа с учетом различных химических форм радиоуглерода.
3. Выполнена ретроспективная оценка годовых эффективных доз на население в результате выброса  $^{14}\text{C}$  с учетом корзины питания региона и различных химических форм для ряда ОИАЭ.

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, отражена значимость, научная новизна, представлены положения, выносимые на защиту.

В качестве основной цели диссертационной работы выдвинуто совершенствование системы текущего и ретроспективного мониторинга выбросов  $^{14}\text{C}$  при нормальной эксплуатации ядерных реакторов.

В первой главе дан развернутый анализ современных источников образования и поступления  $^{14}\text{C}$  в различных химических формах в окружающую среду. Была приведена классификация реакторных установок (РУ) по трем категориям. К установкам с наихудшей практикой попали РУ типа GCR и их второе поколение – AGR. Это объясняется тем, что газоохлаждаемые реакторы имеют наибольший удельный показатель выброса  $^{14}\text{C}$ . Данный тип реакторных установок не получил широкого распространения и представлен исключительно в Великобритании. Из отечественных РУ худшие показатели по выбранному критерию имеют АЭС с реакторами РБМК.

Кроме того, в этой главе дан обзор применяемых методов контроля различных соединений с  $^{14}\text{C}$  в выбросах предприятий атомной отрасли. Рассмотрены наиболее распространенные в России и за рубежом приборные средства. В этой главе также рассматривается эволюция методов измерения активности углерода-14 от счетчика Либби до наиболее чувствительной ускорительной масс-спектрометрии (УМС), которая повысила



чувствительность тысячекратно, давая возможность фиксировать изменения фоновых значений концентрации  $^{14}\text{C}$  в различных объектах.

Вторая глава посвящена разработке мобильного измерительного стенда. В России с 2018 года на ПО «Маяк» осуществляется серийное производство стационарных пробоотборных стендов трития и углерода-14 «УОТ-2». Однако потребность в компактных мобильных измерительных установках, как ожидается, буде востребована хотя бы в исследовательских проектах.

Демонстрационные возможности разработанного стенда были продемонстрированы на двух предприятиях: АО «ИРМ» и АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова». Измерения  $^{14}\text{C}$  в выбросах этих предприятия показали, что органические соединения  $^{14}\text{C}$  вносят значительный вклад в суммарную активность выброса этого изотопа. Доля регистрируемой органической фракции  $^{14}\text{C}$  в выбросах составляла от 30 до 84 %.

3-я глава диссертации посвящена разработке метода ретроспективной оценки выброса  $^{14}\text{C}$ , основанном на УМС-анализе  $^{14}\text{C}$  в годичных кольцах деревьев, расположенных в непосредственной близости от источника выброса радиоуглерода и гипотезе о том, что углерод поступает в деревья в основном за счет поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$  посредством фотосинтеза. Автор не только разработал метод, но и продемонстрировал его возможности на двух ОИАЭ: Белоярская АЭС совместно с АО «ИРМ» и Курская АЭС. Выполненная автором ретроспективная оценка величин годового выброса  $^{14}\text{C}$  от деятельности АО «ИРМ» и Белоярской АЭС, показала, в период с 1970 по 1990 гг. основным источником поступления  $^{14}\text{C}$  в атмосферу были графитоводные энергоблоки АМБ-100 и АМБ-200, а начиная с 1994 г. выброс техногенного радиоуглерода главным образом обусловлен деятельностью АО «ИРМ» в связи с началом промышленной наработки изотопной продукции. При ретроспективной оценке величины годового выброса  $^{14}\text{C}$  АО «ИРМ» выполнена поправка на долю органических соединений.

Полученная ретроспективная оценка величин годового выброса  $^{14}\text{C}$  Курской АЭС. подтвердило гипотезу, что в ядерных реакторах с графитовым замедлителем большая часть образующегося радиоуглерода находится в графите.

Воссоздание целостной динамической картины поступления  $^{14}\text{C}$  за весь период эксплуатации объектов с ядерными реакторами – безусловно, основное научное достижение, полученное в данной работе.

В четвертой главе автор проводит оценки годовых эффективных доз на население от выбросов  $^{14}\text{C}$ . При этом он полагает, что предложенный МАГАТЭ способ оценки дозовых нагрузок излишне консервативен. В качестве иллюстрации приведены расчеты доз от поступления  $^{14}\text{C}$  в организм референтного человека, проживающего рядом с Белоярской АЭС и АО «ИРМ» за период с 1970 по 2020 годы. Рассчитанные дозы от техногенных выбросов  $^{14}\text{C}$  учитывают местную пищевую корзину и полученные значения годовых эффективных доз в среднем почти в 3 раза меньше, чем при использовании методологии МАГАТЭ.

В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Разработан и апробирован мобильный измерительный стенд по определению различных форм  $^{14}\text{C}$  в воздушной среде;
2. Разработан и продемонстрирован метод реконструкции величины выбросов  $^{14}\text{C}$  объектами использования атомной энергии.
3. Получены оценки годовых выбросов  $^{14}\text{C}$  для Курской АЭС и Белоярской АЭС и АО «ИРМ» за весь период их эксплуатации.
4. Выполнены оценки годовых эффективных доз облучения на население, проживающее в зоне воздействия и Белоярской АЭС и АО «ИРМ», с учетом местной корзины питания.

Работа в целом выполнена на высоком профессиональном уровне, материал изложен четко и понятно. Часть редакторских замечаний в процессе подготовки отзыва была обсуждена с автором и принята.

Тема диссертационной работы соответствует паспорту заявленной специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность». Согласно формуле специальности в диссертационной работе представлен результат разработки отечественного мобильного приборного стенда для измерения различных химических форм  $^{14}\text{C}$  в воздушных выбросах. Разработан метод реконструкции величины выбросов  $^{14}\text{C}$  объектами использования атомной энергии с использованием отечественного оборудования. На основе выполненных измерений впервые реконструирована динамика выбросов  $^{14}\text{C}$  Курской АЭС и Белоярской АЭС и АО «ИРМ» и выполнена оценка годовых дозовых нагрузок на население за весь период эксплуатации объектов.



### Замечания

Работа в целом выполнена на высоком профессиональном уровне, материал изложен четко и понятно. Часть редакторских замечаний в процессе подготовки отзыва была обсуждена с автором и принята.

1. При оценке дозовых нагрузок от фонового  $^{14}\text{C}$  необходимо учитывать поступление не только местных продуктов питания, но и тот факт, что привозные продукты также содержат  $^{14}\text{C}$ .
2. При переносе результатов измерения  $^{14}\text{C}$  в годичных кольцах деревьев на уровни загрязнения атмосферного воздуха требуется учесть те неопределенности, которые может вносить накопленный в почвенных горизонтах и подстилке техногенный  $^{14}\text{C}$ .

### Заключение

По своей актуальности, новизне, научной и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Назаров Евгений Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Официальный оппонент:

Заведующий отделением анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук,  
доктор технических наук,

115191, г. Москва, Большая Тульская ул., д. 52,

Тел. +7 (495) 955-23-77, E-mail: [uss@ibrac.ac.ru](mailto:uss@ibrac.ac.ru)

 Уткин Сергей Сергеевич  
08.12.2023

Подпись Уткина Сергея Сергеевича удостоверяю:

Ученый секретарь ИБРАЭ РАН

к.ф.-м. н.



 В.Е. Калантаров