

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Кротова Сергея Алексеевича на тему:  
«Термические методы выделения медицинских радионуклидов из облученных мишеней»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук  
по специальности 02.00.14 – Радиохимия

В работе **Кротова Сергея Алексеевича**, посвященной развитию термических методов выделения радионуклидов из облученных твердотельных мишеней, продолжены традиции отечественной радиохимической школы, заложенные сотрудниками Объединенного института ядерных исследований, Петербургского института ядерной физики РАН, Санкт-Петербургского государственного университета.

Диссертация включает:

- введение, в котором ясно сформулированы цель и методология исследования, научная новизна и практическая значимость работы;
- описание известных областей применения радионуклидов в медицине (Глава 1);
- сравнительный анализ традиционных и «сухих» методов извлечения целевых продуктов из облученных мишеней (Глава 2);
- скрупулезное обсуждение полученных экспериментальных данных, положенных в основу новых способов извлечения  $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{82}\text{Sr}$  и  $^{177}\text{Lu}$  (Главы 3-5);
- сделанные в результате проведенного исследования корректные заключения о перспективах «сухих» технологий при выделении медицинских радионуклидов.

Материал диссертации изложен на 153 страницах печатного текста (русская версия работы), включает 13 таблиц, 41 рисунок, список цитируемой литературы из 98 наименований.

**Актуальность и практическая ценность работы** обоснованы во вступительной части диссертации. Автором отмечено, что в ряде случаев классические химические способы переработки облученных мишеней являются малоэффективными: потери целевых радионуклидов превышают допустимый порог, а радиохимическая, радиоизотопная и химическая чистота не соответствуют значениям, позволяющим применять их в клинической медицине. Показано также, что многолетняя практика использования разнообразных термических методов получения радионуклидов позволяет рассматривать эти методы как разумную альтернативу и при промышленном производстве чрезвычайно востребованных сегодня диагностических и терапевтических радиоизотопов –  $^{82}\text{Sr}$  и  $^{177}\text{Lu}$ .

09/2-02-225 от 27.04.2020

**Глава 1** посвящена описанию известных областей применения радионуклидов в медицине. Короткими мазками обозначены основные направления использования радиоактивных изотопов (однофотонная эмиссионная компьютерная томография, позитронная эмиссионная томография, радиоиммунологический анализ, фотонная абсорбциометрия, дистанционное облучение, контактная внутриполостная терапия, радионуклидная терапия), сформулированы критерии отбора радионуклидов для проведения и диагностических, и терапевтических процедур.

Сравнительный анализ традиционных и «сухих» методов извлечения целевых продуктов из облученных мишеней представлен в **Главе 2**. Показано, что альтернативные «сухие» методы выделения имеют ряд неоспоримых преимуществ: а) экспрессность процедуры выделения; б) высокие выход и радионуклидная чистота целевых продуктов; в) предельная простота процедуры их выделения; г) отсутствие «видимых» потерь дорогостоящих стабильных изотопов в технологических циклах выделения целевых радионуклидов. При написании этой главы автором использован оригинальный методический прием - присущие классическим методам «мокрой» химии (ионообменная хроматография, экстракционная хроматография, электрохимия) объективные недостатки рассмотрены на примере извлечения  $^{177}\text{Lu}$  из иттербиевых мишеней («сухая» технология разделения которых предлагается в Главе 5).

Основные экспериментальные результаты, приведенные в **Главах 3-5**, вне всякого сомнения, являются весомым вкладом в современную прикладную радиохимию:

- термический способ выделения был успешно применен для получения диагностических и терапевтических радионуклидов Sr-82 и Lu-177 из облученных металлических рубидиевых и иттербиевых мишеней; полнота извлечения целевых радионуклидов составила: а) Sr-82 - более 99,9%; б) Lu-177 – около 98%;

- проведенные эксперименты показали, что термические методы оказываются эффективными не только для отгонки легколетучих облученных мишеней (в частности, Rb и Yb), но и для разделения ультрамалых («безносительных») количеств - например, Sc-46 и Cu-67 (полнота отделения последней составила около 99%).

В качестве **замечаний, пожеланий и дискуссионных вопросов** отмечу следующее.

1. Отсутствуют (см. Главу 3) экспериментальные подробности облучения металлических рубидиевых мишеней (энергетический диапазон заряженных частиц, ток пучка, выделение тепла в мишени, пр.), позволяющие сделать прогнозные оценки о распределении целевого продукта ( $^{82}\text{Sr}$ ) в ее объеме на конец облучения. Полагаю, такая информация могла бы позволить оптимизировать предложенную схему извлечения  $^{82}\text{Sr}$ .

2. В Главе 3 автор приводит описание экспериментов по выделению  $^{82}\text{Sr}$  из «бинарной» ( $\text{RbCl}$ ) мишени. При этом разумная аргументация в пользу выбора именно этого соединения для получения целевого продукта отсутствует. Также отсутствуют какие-либо экспериментальные данные об облучении этой мишени на пучке ускорителя. В тексте работы об этом лишь одна фраза: «Мишенное вещество, порошок хлористого рубидия природного содержания, облучался на пучке протонов 1000 МэВ синхроциклотрона ПИЯФ». Полученный «...замечательный эмпирический результат требует дальнейшего осмысления и кропотливых исследований...», однако, полагаю, уже сегодня автор должен ответить на несколько простых вопросов:

- почему для наработки  $^{82}\text{Sr}$  была выбрана именно такая ( $\text{RbCl}$ ) мишень?
- какие физико-химические процессы могли происходить в мишени в процессе облучения?
- могла ли в условиях нагрева мишени до высоких температур вследствие низкой теплопроводности материала, непрерывного дефектообразования под пучком протонов сохраниться исходная химическая форма материала?
- учтены ли возможные изменения физики-химического состояния мишени при «планировании» термической технологии разделения компонентов.

Основные результаты диссертационной работы представлены в 5 печатных изданиях, три из которых рецензируются Scopus и Web of Science, две - РИНЦ, а также патентной заявкой на изобретение.

Диссертация Кротова Сергея Алексеевича на тему: «Термические методы выделения медицинских радионуклидов из облученных мишеней» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Кротов Сергей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.14 – Радиохимия. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета,  
доктор химических наук, главный  
метролог - начальник метрологической  
службы Акционерного общества  
«Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»



Алексеев И.Е.

«22» апреля 2020 г.