

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Рогова Александра Сергеевича «Разработка технологии изготовления сорбционного генератора технеция-99м на основе активационного ^{99}Mo », представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Молибден-99 (Mo-99) является наиболее широко применяемым радиоизотопом в ядерной медицине. На его основе изготавливают генераторы Mo-99/Tc-99m . Период полураспада Tc-99m составляет всего 6 часов, и он быстро выводится из организма после проведения медицинских процедур. Препарат применяется для высокоинформативной диагностики различных заболеваний и в том числе злокачественных новообразований в онкологии. В последние годы наметилась тенденция по применению технеция-99м одновременно в диагностических и терапевтических процедурах. Как было отмечено на симпозиуме МАГАТЭ «Возможности и способы поставок Mo-99 и других медицинских радиоизотопов на мировой рынок», прошедшем 17-19 июля 2017г в г. Вена, не смотря на разработку и использование других методов диагностики онкологических заболеваний, генераторы технеция-99м еще долгое время будут использоваться в ядерной медицине. На этом же симпозиуме было отмечено, что мировые еженедельные потребности в Mo-99 составляют порядка 9000 Ки, из которых половина приходится на США, где круглосуточно функционирует более 100 ядерных аптек и ежедневно проводятся процедуры для 40-60 тысяч человек. Ежегодный прирост в потреблении оценивается в 0,5 % в развитых странах и 5 % в развивающихся странах. В настоящее время практически весь Mo-99 производится «осколочным» методом, с использованием мишеней из урана-235. Большинство производителей используют мишени из высокообогащенного урана (90 % по урану-235). Ряд глобальных производителей в рамках выполнения международных обязательств нераспространения оружейных ядерных материалов перешли на мишени с пониженным до 20 % обогащением

урана-235, другие планируют переход на НОУ-мишени в ближайшие годы. Такой переход приводит к существенному, почти в два раза удорожанию продукции. Увеличиваются затраты на изготовление мишеней, на облучение в исследовательских реакторах, логистику (требуется большее количество контейнеров, задействованных в технологическом процессе), необходимы изменения в технологиях переработки, увеличиваются в 2-3 раза радиоактивные отходы. Наряду с этим, существует альтернативная возможность практически безотходного получения ^{99}Mo путем облучения нейтронами реактора обогащенного (более 90 %) молибдена-98. Вместе с тем, нарабатываемая по такой ядерной реакции удельная активность ^{99}Mo обычно не превышает 6-8 Ки/г, что затрудняет его использование для производства удобных и широко востребованных сорбционных генераторов-технеция-99м. Однако, такая технология была успешно реализована в России на реакторе ИРТ-Т Томского политехнического университета, где продолжают исследования по совершенствованию технологий. Поэтому актуальность диссертационной работы Рогова А.С., посвященной изучению и созданию технологии компактного нанесения на хроматографическую колонку генератора большой массы активационного ^{99}Mo и разработке генераторов с любыми стандартными потребительскими номиналами по выделяемому $^{99\text{m}}\text{Tc}$, не вызывает сомнения.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней впервые исследованы закономерности адсорбции молибдена в хроматографической колонке генератора $^{99\text{m}}\text{Tc}$ при проведении ее «зарядки» раствором ПМН в направлении снизу-вверх. Определены профили распределения молибдена в колонке в зависимости от его концентрации и адсорбированной массы. Показано, что такая технология подачи раствора способствует размещению более 80 % адсорбированного молибдена на выходе из колонки. В результате достигается величина элюационного выхода $^{99\text{m}}\text{Tc}$ из генераторных колонок на уровне 85-90 %. При этом объем элюента, требуемый для достижения максимального выхода $^{99\text{m}}\text{Tc}$, не превышает 7 мл. Все это способствует созданию компактных генераторов на основе активационного ^{99}Mo .

Особо следует отметить приоритетное значение полученных результатов, что подтверждается выдачей 4 патентов РФ на изобретение.

Практическое значение работы состоит в том, что предложенные в диссертации технологические приемы без дополнительных доработок могут быть использованы для изготовления удобных одно-игольчатых генераторов на основе активационного ^{99}Mo (n, γ) с заданными характеристиками по общей и объемной активности. В настоящее время в государственной корпорации «Росатом» принято решение о внедрении разработанной в ТПУ технологии наработки активационного ^{99}Mo в высоко-поточном реакторе СМ-3 (100 МВт, НИИАР, г. Димитровград) и ИВВ-2М (15 МВт, ИРМ, г. Екатеринбург) для производства в России и за рубежом генераторов технеция с номиналом 111 ГБк (3 Ки) и более.

Результаты исследований используются в учебно-педагогическом процессе Томского политехнического университета в рамках магистерской программы «Медицинская физика».

Обоснованность и достоверность выдвигаемых на защиту научных положений и результатов обусловлена корректностью применяемых в работе физико-химических методов исследований; использованием аттестованного оборудования, обеспечивающего достаточный уровень надежности результатов; комплексным применением взаимодополняющих измерительных методов; сходимостью результатов исследований, проводимых в лабораторных и опытно-промышленных условиях.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав с краткими выводами по каждой главе, заключения и выводов, содержит 157 машинописных страниц, включая 46 рисунков, 23 таблицы, 156 библиографических ссылок и приложение. Текст диссертации изложен логично и последовательно, хорошо иллюстрирован, выводы достаточно обоснованы.

В введении представлена актуальность, цель, научная новизна, практическая значимость, выносимые на защиту положения, личный вклад и апробация диссертационной работы.

Глава 1 посвящена литературному обзору и анализу имеющихся методов и устройств для получения изотопов технеция-99м. Отмечено, что во всех генераторных системах направление движения жидкостей через колонки при их «зарядке» молибденом и последующим элюированием дочернего технеция-99м совпадает, что, с учетом буферного слоя оксида алюминия, позволяет защитить получаемый препарат от проскока молибдена-99. Сделан вывод о целесообразности разработки иной технологической схемы зарядки генераторов в направлении снизу-вверх с последующим элюированием технеция-99м в противоположном направлении сверху-вниз. Показаны условия и направления необходимых исследований для реализации новой технологической схемы.

В главе 2 подробно рассмотрены материалы и применяемые методики исследований. Было использовано 15 единиц современного аналитического и радиометрического оборудования, разработано 8 методик, проведены исследования с их использованием со статистической обработкой получаемых результатов.

Глава 3 посвящена разработке технологии проведения «зарядки» генератора, обеспечивающей максимальный выход технеция-99м для любой адсорбционной массы молибдена-99. Основная сложность решаемой задачи связана с проблемой проведения устойчивой адсорбции большого количества молибдена на поверхности оксида алюминия. С этой целью в работе проведен большой объем исследований, в ходе которых определены условия кислотной обработки сорбента - оксида алюминия, обеспечивающие максимальную адсорбцию молибдена. Изучено влияние на процесс распределения молибдена в объеме колонок направления проведения их «зарядки» раствором ПМН. Установлено, что наиболее компактное распределение молибдена в колонках достигается при пропускании через них раствора в направлении снизу-вверх. За счет этого достигается высокий элюационный выход технеция-99м на уровне 85-90 % для любой адсорбированной массы молибдена. С учетом такой особенности распределения была проведена оптимизация размеров

генераторной колонки.

В главе 4 представлены результаты разработки инновационной конструкции сорбционного генератора технеция-99м на основе активационного молибдена-99. Предложено использовать одно-игольчатую систему компоновки линии отбора препарата, позволяющей производить продувку генераторной колонки после выделения препарата. Показано, что для изготовления генераторов со стандартными потребительскими номиналами до 18,5 ГБк с пред-калибровкой в 60 часов достаточно высоты колонки 4,5 см и диаметра 1,3 см. Проведенные технические испытания опытной партии генераторов позволяют сделать вывод о полном соответствии выделенных из них препаратов технеция-99м действующим нормативным требованиям и возможности их использования в практической медицине.

По теме диссертационной работы опубликовано 28 работ, из них 13 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 4 статьи в рецензируемых зарубежных изданиях и 5 тезисов докладов и выступлений на конференциях и семинарах всероссийского и международного уровней. Получено 4 патента РФ. Имеется Акт о внедрении. Вышеизложенное позволяет констатировать достаточный уровень апробации диссертационного исследования.

В автореферате диссертации изложены основные положения и выводы, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследования, обсуждены полученные данные. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Содержание диссертации и автореферата соответствуют указанной специальности 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В литературном обзоре приводятся излишне подробные описания технологий производства молибдена-99 на реакторах и ускорителях заряженных частиц. Например, приводятся данные о составе и переработке

облученных реакторных ВОУ и НОУ мишеней, хотя диссертация посвящена разработке технологии изготовления генераторов технеция-99м из низкоактивного активационного молибдена-99.

2. Не совсем понятно, как будет реализоваться технология «обратной» зарядки при использовании $(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ с более высокой удельной активностью, чем 8-10 Ки/г, например, 50-100 Ки/г, которая может быть наработана из обогащенного молибдена-98 на реакторе СМ-3 НИИАР. В этом случае, на колонку генератора потребуется наносить в 5 раз меньшую массу молибдена, который будет адсорбироваться на самом ее выходе. Не приведет ли это к попаданию молибдена в препарат?

3. Приведенные в работе результаты испытаний опытной партии генераторов показывают, что выделенные из них элюаты технеция-99м по всем показателям соответствуют нормативным требованиям. В этой связи хотелось бы задать вопрос. Проводились ли автором испытания качества препарата при его смешивании со стандартными наборами реагентов (лиофилизатами)?

4. Не понятен статус представленных в главе 2 методик исследований и технологических процессов при разработке нового генератора, их новизны и наличия метрологической аттестации.

Подводя итог анализу представленной диссертации, считаю необходимым отметить, что указанные замечания не снижают достоинств работы и ее общей положительной оценки; часть этих замечаний носит дискуссионный характер. В целом диссертация представляет собой серьезный научный труд в виде законченного исследования, в котором достаточно успешно решена поставленная техническая задача, **разработка технологии изготовления сорбционного генератора технеция-99м из активационного молибдена.**

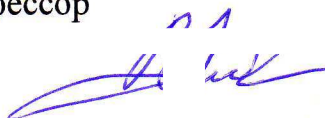
Рекомендую автору продолжить работу по внедрению полученных результатов в практическое производство.

Резюмируя вышеизложенное и основываясь на совокупности достоинств представленной работы, полагаю, что диссертационная работа Рогова А.С.

«Разработка технологии изготовления сорбционного генератора технеция-99м на основе активационного ⁹⁹Mo» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент,
директор по научному развитию-
научный руководитель по
физико-энергетическому направлению
АО "Наука и инновации"
Госкорпорации "Росатом",
доктор технических наук, профессор

Рисованый
Владимир Дмитриевич



«25» декабря 2017 г.

119180, Россия, Москва, пер. Старомонетный, дом 26, АО "Наука и инновации"
Госкорпорации "Росатом" Телефон: +7(499) 949-45-35, +7-916-272-30-24 E-mail:
VLDRisovanvv@rosatom.ru

Подпись Рисованого В.Д. заверяю

 Котова Е.Б



«25» декабря 2017 г.