

ОТЗЫВ официального оппонента

доктора технических наук, профессора Рисованого Владимира Дмитриевича, на диссертационную работу Ворошилова Юрия Аркадьевича на тему "Разработка технологии производства препарата молибден-99 на ФГУП «ПО «Маяк»", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.14 - «Радиохимия».

Молибден-99 (Mo-99) является наиболее широко применяемым радиоизотопом в ядерной медицине. Его доля среди всех радиоизотопов медицинского назначения, используемых в мире, составляет около 80%. На основе Mo-99 изготавливаются 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 высоко-информированной диагностики различных заболеваний и, прежде всего, злокачественных новообразований в онкологии. В последние годы наметилась тенденция по применению Tc-99m 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 Mo-99/Tc-99m еще долгое время будут использоваться в ядерной медицине. На этом же симпозиуме было отмечено, что мировые еженедельные поставки Mo-99 составляют порядка 9000Ки, 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 Mo-99 оценивается в 0,5% для развитых стран и 5% для развивающихся стран. На сегодня доля российских производителей Mo-99 на мировом рынке составляет около 5% и руководством государственной корпорации Росатом поставлена задача довести этот уровень до 20% к 2022г. Планируется увеличение потребления Mo-99 и в медицинских учреждениях России, которое в настоящее время составляет всего около 50 Ки в неделю. Поэтому, **актуальность** диссертационной работы Ворошилова Ю.А., посвященной исследованиям и созданию новых технологий производства препарата молибден-99, не вызывает сомнения.

Практическая значимость работы состоит в том, разработаны новые технологические процессы и создано опытно- промышленное производство молибдена-99, который был использован для производства генераторов Mo-99/Tc-99m. Автору диссертационной работы удалось найти эффективные методы выделения молибдена и его очистки, предложить условия реализации процессов и испытать их на производстве. Так, им подобраны эффективные неорганические сорбенты и ионообменные смолы, разработан и испытан экстракционный вариант процесса выделения, концентрирования и очистки молибдена. Для реализации его в условиях горячей камеры предложен оригинальный дизайн компоновки экстракционного каскада в радиохимическом исполнении с вынесенными приводами, для повышения степени очистки целевого компонента предложен режим рефлексирования реэкстракта молибдена через головной экстрактор. Автором разработан и испытан на производстве процесс сублимационной очистки молибдена, включающий перевод компонента в виде триоксида молибдена в газовую фазу и его последующее улавливание. В ходе отладки технологии проведена промышленная наработка концентрата молибдена-99 и осуществлена его поставка в ГНЦ РФ-ФЭИ для зарядки генераторов технеция-99m и поставки их в клиники России. Итоговый вариант технологии проверен в производственных условиях в ходе опытных операций, при этом продемонстрирована возможность наработки препарата, соответствующего требованиям зарубежных производителей, что подтверждено при пробной зарядке генераторов технеция-99m.

Новизна полученных результатов подтверждается четырьмя Патентами Российской Федерации и научными публикациями. Она заключается в исследовании сорбционных и экстракционных свойств значительного количества массообменных материалов по отношению к молибдену-99 и сопутствующим стабильным и радиоактивным примесям, присутствующим в растворе облученной урановой мишени. Автором впервые разработан и проверен состав нового экстракционно-хроматографического материала для селективного извлечения молибдена-99 из азотнокислых технологических продуктов, выявлен синергетный эффект экстракционной смеси Д2ЭГФК и ТБФ по отношению к урану и антагонистический эффект по отношению к некоторым сопутствующим примесям. Ворошиловым Ю.А. определены оптимальные условия реализации стадий переработки раствора

облученной мишени, концентрирования и аффинажной очистки молибдена-99 с использованием выбранных массообменных процессов.

Научные положения, представленные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными, что подтверждается результатами многочисленных производственных испытаний. Достоверность полученных научных результатов не вызывает сомнений.

Структура диссертации состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части, заключения и списка литературы. Общий объем работы - 179 страниц, включая 45 рисунков, 72 таблицы и библиографию из 95 наименований.

Во введении сформулированы актуальность, цель, задачи и направления работы, научная новизна и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В литературном обзоре приводятся сведения о применении молибдена-99 и его основных производителях. Описаны методы наработки, проанализировано поведение компонента в водных растворах, представлены основные методы выделения молибдена из растворов и реализованные на их основе технологические процессы для его наработки.

В методической части приведены материалы и реагенты, применяемые в работе, описаны методики проводимых экспериментов, а также используемое в исследованиях оборудование.

Экспериментальная часть состоит из четырех подразделов, первый из которых содержит результаты доработки технологической схемы исходной базовой технологии, существовавшей к началу выполнения работы. Представлены итоги опытно-промышленных операций наработки препарата молибдена-99 на установке «Молибден» для изготовления генераторов технеция-99м.

Второй подраздел посвящен разработке технологии экстракционного выделения и концентрирования молибдена-99 из раствора облученной мишени. Автором предложен технологический процесс экстракционного концентрирования и очистки молибдена-99 на каскаде центробежных экстракторов типа ЭЦР-33. Однако в итоге автором сделан выбор в пользу сорбционного варианта и принято решение о дальнейшем развитии технологии на основе сорбционного метода с использованием неорганического сорбента Термоксид-5 (Т-5).

Поэтому в следующем подразделе диссертации представлены данные лабораторных и промышленных экспериментов по разработке сорбционной технологии наработки концентрата молибдена-99 на основе сорбента Т-5. Представленные результаты опытной операции на реальном продукте подтверждают простоту реализации данной технологии и высокую кинетику сорбции Мо.

В заключительном подразделе диссертационной работы автором приведены результаты лабораторных и промышленных экспериментов по доработке данной технологии в направлении повышения качества очистки получаемого препарата молибдена-99. Ворошилов Ю.А. предложил включить в технологическую схему дополнительную стадию анионообменной очистки на основе анионита Lewatit MP-500 в SO_4^{2-} - форме, а на конечной стадии технологического процесса осуществлять контрольную доочистку молибдена методом сублимации.

Результаты итоговых производственных испытаний разработанной технологии продемонстрировали возможность получения препарата молибдена-99 фармакопейного качества, что подтверждено в ГНЦ РФ-ФЭИ при пробной зарядке генераторов технеция-99м.

Выполненная работа имеет большое значение для развития процессов производства радионуклидов в атомной отрасли.

Материалы диссертации были опубликованы в 4 статьях журнала, рекомендованного ВАК РФ, в 4 патентах РФ, а также в 16 тезисах докладов на международных и российских конференциях. Публикации соответствуют содержанию работы.

Диссертационная работа написана доказательно, понятным научно-техническим языком и аккуратно оформлена. Автореферат в целом отражает содержание диссертационной работы.

В процессе ознакомления с работой у оппонента возникли следующие замечания:

1. Из названия следует, что разработанная технология пригодна только для ФГУП «ПО МАЯК». Но это предприятие, как минимум, 10 лет не производит Мо-99. На сколько предложенная технология производства Мо-99 универсальна и может использоваться, например, при щелочном растворении мишеней?

2. Цель диссертационной работы сформулирована очень узко и не конкретно. Из формулировки цели следует, что разрабатывалась технология под уже существующую установку «Молибден». Какие ее элементы были модернизированы и что появилось нового в установке? Что понимается под наработкой Mo-99 с «приемлемым технологическим выходом»?

3. Структура содержания диссертационной работы не в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к тексту диссертационной работы. Практически отсутствуют отдельные главы. Есть глава 1, посвященная литературному обзору и глава 2 «Экспериментальная часть» с подразделами, которые, по существу, являются отдельными самостоятельными главами. Нет раздела «Выводы» в диссертации, а только «Заключение». Причем заключение диссертационной работы не в полной мере соответствует заключению и выводам автореферата.

4. Литературный обзор не полный и не отражает реальное положение с Mo-99 на мировом рынке и с его производителями. Например, АО «ГНЦ НИИАР» с 2013г. производит и поставляет Mo-99 в количестве до 700Ки в неделю, являясь самым большим производителем в России, и в литературе имеются публикации на эту тему. Доля России в производстве Mo-99 не 1%, а 5%. Не рассмотрена ситуация по переходу мишеней с ВОУ на НОУ, развитие активационных методов наработки Mo-99 и т.д. Желательно было бы проанализировать технологии щелочного и кислотного растворения мишеней. Наконец, из литературного обзора должны следовать нерешенные задачи, из которых становится понятным, почему необходимо было развивать новые технологии.

5. В разделе «Публикации» декларируется, что по теме диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ, а приводится только четыре.

6. Положения, выносимые на защиту, не соответствуют выводам, представленным в автореферате. Все выводы и заключения носят декларативный, не конкретный характер. Не приводятся результаты, полученные технические и технологические параметры и режимы нового технологического процесса.

7. Не очевидна практическая значимость полученных результатов. Из текста следует, что более 10 лет назад была выпущена только опытная партия продукта по разработанной технологии. Где еще были использованы результаты диссертационной работы?

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 по разработке новой технологии производства Мо-99.

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

Резюмируя вышесказанное и основываясь на совокупности достоинств представленной работы, полагаю, что диссертационная работа "Разработка технологии производства препарата молибден-99 на ФГУП «ПО «Маяк»" удовлетворяет п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21 апреля 2016 г. № 335, а её автор Ворошилов Ю.А. заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.14 - «Радиохимия».

Официальный оппонент:

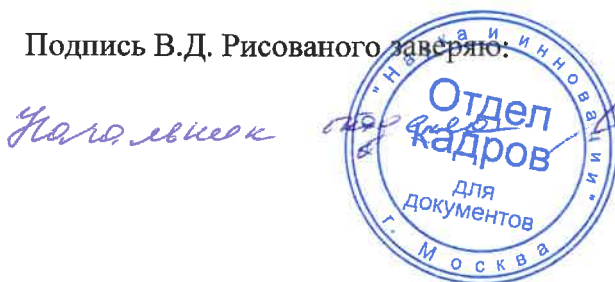
директор по научному развитию- научный
руководитель по физико-энергетическому
направлению АО «Наука и инновации»
государственной корпорации Росатом,
доктор технических наук, профессор,



В.Д. Рисованый

Почтовый адрес: 115035, Москва, Кадашевская набережная, дом 32/2,
стр. 1. Телефон: +7(499) 558-1025. E-mail: VLDRisovanyy@rosatom.ru.

Подпись В.Д. Рисованого заверяю:




09 октября 2018 г.

С.В. Кузнецов