

Областной конкурс среди обучающихся учреждений «Старт в науку»

**«СУБЛИМАЦИОННАЯ ОЧИСТКА МЕДИЦИНСКОГО РАДИОФАРМПРЕПАРАТА  
Mo-99 МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ»**

Россия, Челябинская область, Озёрск

Авторы:

Васенин Леонид Дмитриевич

Корепанов Артём Георгиевич

10 кл., МБОУ «Лицей № 39»

Научный руководитель:

Истомин Игорь Александрович,

Заместитель начальника центральной завод-  
ской лаборатории, канд. техн. наук

# СУБЛИМАЦИОННАЯ ОЧИСТКА МЕДИЦИНСКОГО РАДИОФАРМПРЕПАРАТА Mo-99 МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Васенин Леонид Дмитриевич

Корепанов Артём Георгиевич

Россия, Челябинская область, Озёрск, Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Лицей №39», 10 класс

Проведены исследования по селективной сублимации молибдена и сопутствующих примесей методом лазерного сканирования на установке «Минимаркер-2» в Лазерном центре города Санкт-Петербурга. Показана возможность получения товарного молибдена-99 медицинского качества в течение нескольких секунд. Впервые в области радиохимического концентрирования ценных элементов применены методы лазерной физики.

## Введение

Цель работы заключается в очистке медицинского радиофармпрепарата Mo-99 от «вредных» примесей за счёт воздействия лазерного луча на инертную поверхность с нанесённой на неё солью молибдена и селективного испарения чистого препарата молибдена.

Технология основана на способности лазерного луча создавать локальные, контролируемые высокотемпературные воздействия на поверхность в течение короткого промежутка времени (нескольких секунд). В течение этого времени возможно провести сублимационное испарение ценного компонента (например соли молибдена) в парогазовую фазу с одновременным отводом её в приёмную охлаждаемую ёмкость (холодильник). При этом не будет происходить нагрева всего объёма реакционной камеры и, самое главное, будет экономиться существенное количество времени, что важно в случае короткоживущих радионуклидов.

В мире и на ФГУП «ПО «Маяк» придерживаются традиционной схемы получения препарата молибдена. Технология состоит из процесса наработки молибдена в реакторе, химической переработки облучённого блока, сорбционного концентрирования молибдена и его сублимационной очистки. При этом стадии могут меняться, дополняться ступенями, но в целом последовательность остаётся неизменной.

Достоинством существующей схемы является большой опыт ее использования в промышленном масштабе. Недостатки метода — большое количество операций, низкий выход продукта, продолжительность процесса.

В данной работе мы предлагаем существенно снизить длительность процесса очистки молибдена от примесей и тем самым повысить выход препарата за счёт селективного извлечения молибдена методом лазерного сканирования.

В предлагаемой технологии основными процессами, влияющими на сокращение времени, являются процессы сублимации и десублимации, основанные на способности веществ переходить в парообразное состояние из твёрдого минуя жидкое под воздействием высоких температур.

Экспериментальные работы были проведены непосредственными авторами на ФГУП «ПО Маяк» и в ООО «Лазерный центр» г. Санкт-Петербург на лазерной установке «Минимаркер-2». В предлагаемой в работе схеме две стадии сохранены. Это наработка молибдена в реакторе и его концентрирование любым из известных методов. Ключевые изменения заключаются в очистке молибдена от примесей на заключительной стадии.

## 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Молибден-99 образуется при ядерном распаде урана-235. Практически весь  $^{99}\text{Mo}$ , используемый в мире, выделяется из осколков деления урана. При этом используется технология, основанная на облучении в реакторах твердых урановых мишеней, которая включает следующие операции:

- изготовление мишеней из урана;
- облучение мишеней в реакторе в течение недели;
- извлечение мишеней из реактора и их выдержку;
- транспортировку мишеней в горячую лабораторию;
- растворение мишеней и радиохимическое извлечение молибдена;
- доочистка молибдена до норм, отвечающих медико-техническим требованиям [1].

Из-за относительно короткого периода полураспада  $^{99}\text{Mo}$  создание складских запасов генераторов технеция невозможно [2]. Требуются их регулярные поставки на еженедельной основе или в еще более короткие сроки.

Сегодня остро ощущается дефицит  $^{99}\text{Mo}$  на мировом рынке. Он появился еще в 2009 году после вынужденной остановки реактора в Канаде по техническим причинам и в Голландии на проведение плановых профилактических работ. Вместе они создавали 80–90% радионуклидов для медицины [3].

В связи с этим, ГК «Росатом» заинтересовался, нельзя ли отечественным компаниям занять достойное место на мировом рынке.

Для обеспечения высокого качества препарата  $^{99}\text{Mo}$  на заключительной стадии очистки целесообразно проводить его сублимацию. В настоящее время проводится целый ряд работ по поиску возможности очистки препарата молибден-99 от сопутствующих радиоактивных и химических примесей и оборудования для осуществления данного метода. Однако на сегодняшний день все известные технологии очистки занимают большое количество

времени, что негативно сказывается на общем выходе препарата и о количестве инъекций в клиниках. Идея создания технологии, основанной на использовании лазерного излучения принадлежит научному руководителю проекта и целиком выполнена с участием учеников лицея № 39 на базах центральной заводской лаборатории ФГУП «ПО «Маяк», ООО «Лазерный центр» г. Санкт-Петербург, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» г. Подольск, Московская обл.

## 2. ЭКСПРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ЗАДАЧА № 1 – Выбор материала установки для нанесения соли молибдена на подложку

Политетрафторэтилен, тефлон или фторопласт-4 – пластмасса, обладающая редкими физическими и химическими свойствами. Так, например этот материал обладает высокой тепло- и морозостойкостью, остаётся гибким и эластичным при температурах от -70 до +270 0С.

Основное свойство тефлона, которое наиболее привлекает нас – его очень низкое поверхностное натяжение и адгезия. Тефлон не смачивается ни водой, ни жирами, ни большинством органических и неорганических растворителей. Поэтому возможно упарить большие объёмы раствора, содержащего микроколичества молибдена до сухих солей на ограниченной (требуемой) поверхности.

По своей химической стойкости тефлон превышает все известные синтетические материалы и благородные металлы. Тефлон не разрушается под влиянием щелочей, кислот и даже смеси азотной и соляной кислот. Тефлон обладает высокой радиационной стойкостью.

Таким образом, установка из тефлона для нанесения соли молибдена на ограниченную поверхность была разработана с учётом существующей технологии очистки препарата молибден-99.

ЗАДАЧА № 2 – Нанесение соли молибдена и примесей без потерь на ограниченное пространство.

На базе центральной заводской лаборатории ФГУП «ПО «Маяк» была собрана установка для нанесения соли молибдена на подложки из металла, включающая устройство из тефлона для нанесения соли на подложку (рисунок 1), электрическую плитку, вакуумную систему и холодильник с ловушкой.

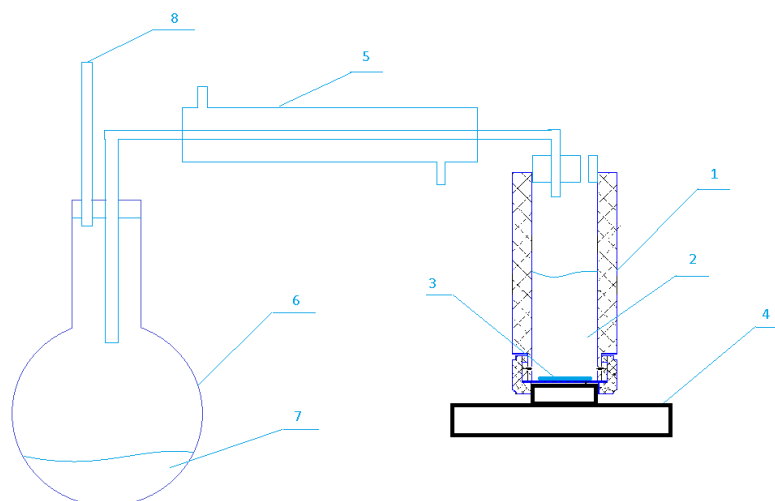


Рисунок 1 – Установка для нанесения соли на подложку

В устройство 1 для нанесения соли молибдена на подложку залили раствор 2 с известным содержанием примесных элементов. Раствор упарили до сухой соли 3 посредством электроплитки 4 с открытой спиралью.

Спираль накрывалась куском листового асбеста для достижения большей равномерности обогрева.

Паровая фаза раствора, проходя через холодильник 5, конденсировалась в колбе 6. Использовался прямой шариковый холодильник, трубка которого состоит из шарообразных расширений. Такая форма трубки увеличивает поверхность охлаждения и при этом происходит более полная конденсация паров.

В качестве приемника для образующегося конденсата использовали колбу Бунзена. Ее применяют в тех случаях, когда отбор пробы ведут с применением вакуума.

Колба имеет тубус, находящийся в ее верхней части. Тубус был соединен с ротаметром, фиксирующим расход воздуха.

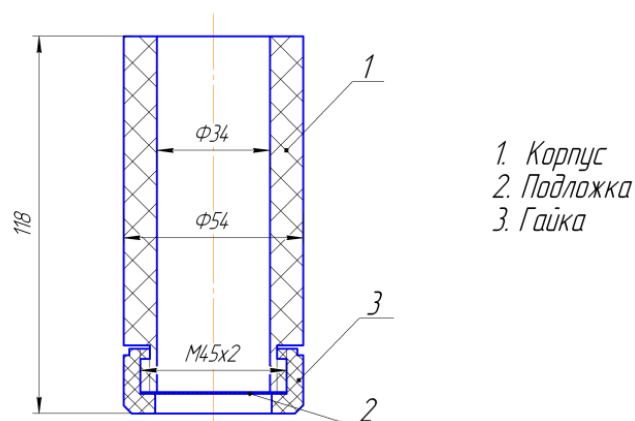
При проведении экспериментов расход воздуха поддерживался на уровне 10 л/мин.

Фильтры в системе фильтрации заменялись перед проведением каждого нового эксперимента. Система фильтрации предназначена для предохранения ротаметра от выхода из строя за счет попадания влаги.

Конденсат со стенок устройства 1, а так же с поверхностей всех подводящих газопроводов от холодильника 5 до вакуумной линии 8 анализировался на содержание молибдена.

На рисунке 2 показано устройство для нанесения соли на подложку с геометрическими размерами.

Подложка 2 герметизируется в устройстве 1 за счет гайки 3.



Деталь поз.1 – подложка  
 1. Материал – карбид кремния,  $\Phi 4,16$ мм, толщина 2мм.  
 2. Материал – нержавеющая сталь,  $\Phi 4,16$ мм, толщина 0,5мм.

Рисунок 2 – Устройство для нанесения соли на подложку

На рисунке 3 приведено распределение молибдена по частям установки. Видно, что основная масса молибдена концентрируется на подложке.

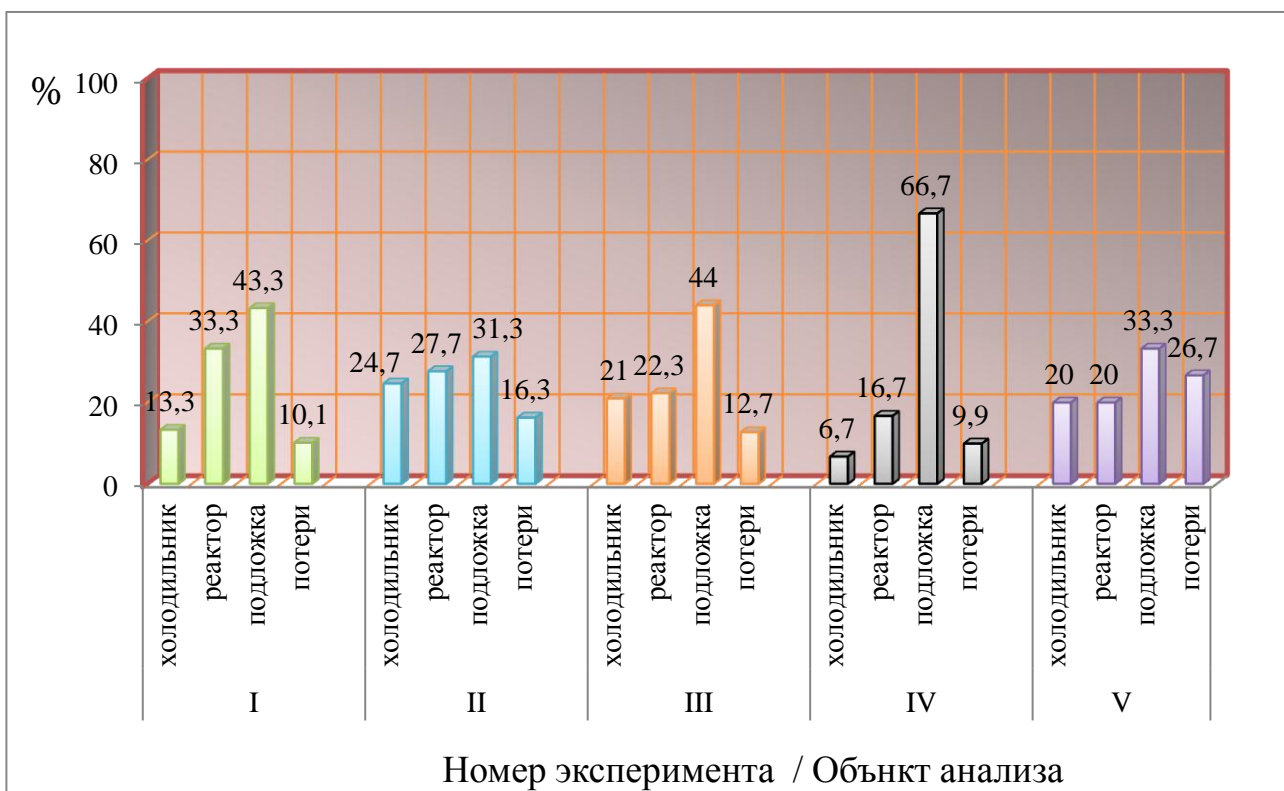


Рисунок 3 - Распределение молибдена по частям установки

### ЗАДАЧА № 3 Высокотемпературная сублимация молибдена

Количественные эксперименты с применением лазерного излучения проводили на базе ООО «Лазерный центр» г. Санкт-Петербург (далее Центр).

В Центре с участием специалистов проводили сублимацию и десублимацию соли молибдена с применением лазерного пучка.

Работа заключалась в следующем:

За счёт изменения мощности лазерного пучка с определённым шагом меняется температурное воздействие на подложку (рисунок 4). За счёт этого на каждом этапе экспериментов сублимируется та или иная примесь или соль молибдена и десублимируется на стекле. Стёкла менялись со сменой характеристик лазера (мощность от 1 до 100 % максимальной мощности лазерной установки, скорость от 1000 до 2000 мм/сек, частота от 47 до 50 кГц, длительность импульса – 4 нсек).

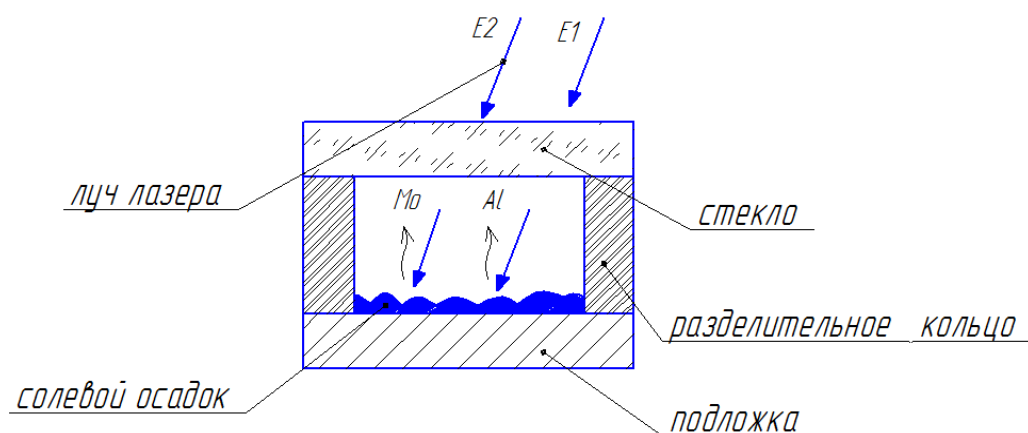


Рисунок 4 – Воздействие луча лазера на подложку с нанесенной солью

Результатами количественных экспериментов стали зависимости концентраций и состава удаляемых в газовую фазу элементов от характеристик (мощности) лазерной установки.

Селективность сублимации определяется температурным воздействием на подложку. Лёгкие примеси будут сублимироваться при более низких температурах, нежели непосредственно оксид молибдена. Начальная температура сублимации оксида молибдена лежит в диапазоне от 850 до 950 °С.

### 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В пробах, отданных на анализ, определяли состав и измеряли массовые концентрации элементов ICP масс-спектрометром AGILENT 7500сх методом прямого измерения масс-спектров.

На рисунках 5-8 приведены результаты по выходу легколетучих и труднолетучих компонентов раствора относительно молибдена при разных мощностях лазерного излучения.

Сублимированная примесь отводилась на холодную поверхность (стекло), где она конденсировалась и удалялась. Селективно сублимированная соль молибдена также

отводилась на холодную поверхность, где она конденсировалась и удалялась на дальнейшую обработку. Время очистки от лёгких примесей и селективное извлечение соли молибдена составило суммарно 2 минуты от начала обработки подложки лазером до снятия стекла, что соответствовало затраченным 0,3 Вт энергии лазерной установки «Минимаркер-2». Выход молибдена от нанесённого его количества на подложку составил около 100 %.

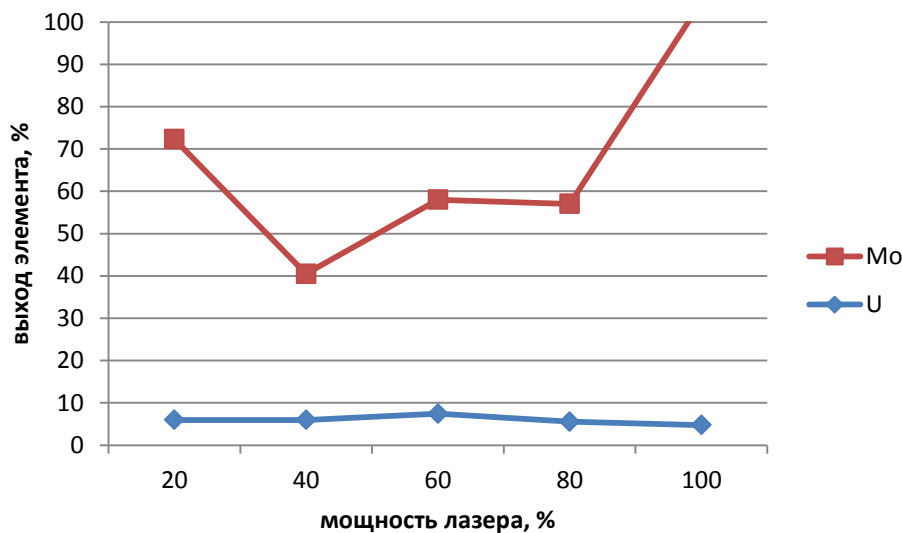


Рисунок 5 – Выход молибдена и урана относительно мощности лазера, % от максимальной мощности лазерной установки

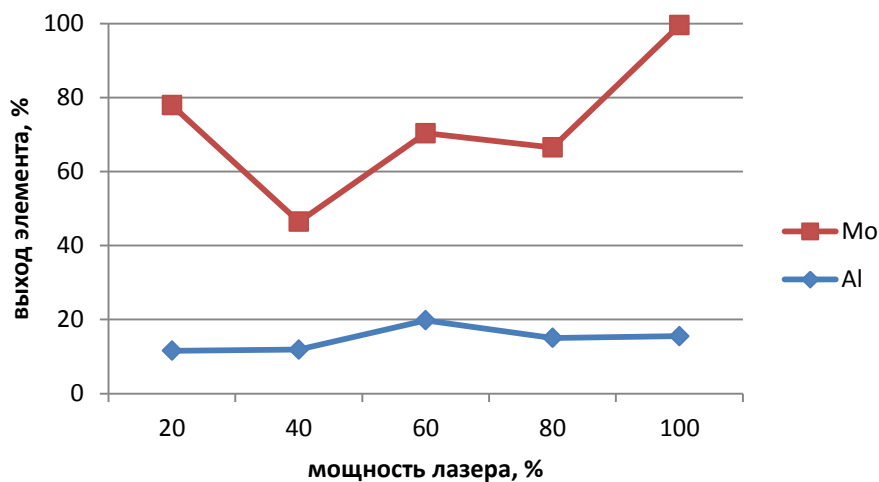


Рисунок 6 – Выход молибдена и алюминия относительно мощности лазера, % от максимальной мощности лазерной установки



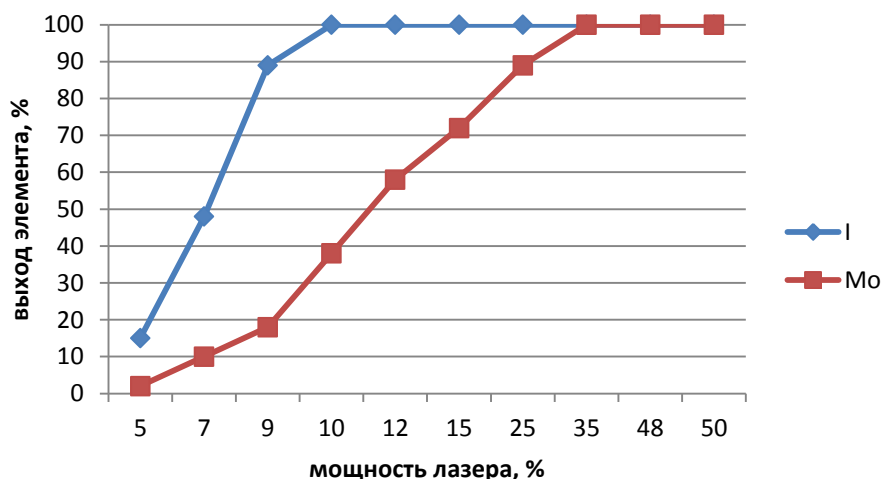


Рисунок 7 – Выход молибдена и йода относительно мощности лазера, % от максимальной мощности лазерной установки

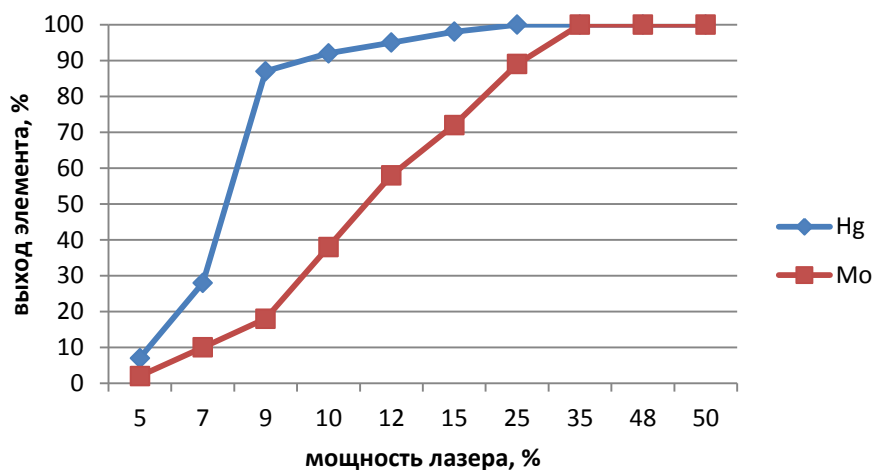


Рисунок 8 – Выход молибдена и ртути относительно мощности лазера, % от максимальной мощности лазерной установки

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты экспериментов на лазерной установке «Минимаркер – 2» показали, что происходит селективный переход молибдена и сопутствующих примесей на поверхность стекла под действие лазерного излучения. Диапазон энергии лазерного пучка с максимальным выходом молибдена составил от 15 до 25 %. В течение двух минут (5 сканирований) удаётся практически полностью десублимировать молибден на поверхности холодильника. В дальнейшем планируется определить энергетические границы выхода молибдена и примесей.

Таким образом, в результате проведенных исследований показаны не только принципиальная возможность мгновенной сублимации и десублимации молибдена и

сопутствующих примесей, но и получены ценнейшие зависимости эффективности этих процессов от энергии лазерной установки. Ранее этих зависимостей получено не было.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кочнов О.Ю. Научно-технологическое развитие производства радионуклида медицинского назначения  $^{99}\text{Mo}$  и молибден-технециевых генераторов с помощью исследовательского реактора ВВР-Ц: автореф. дис. ...докт. тех. наук. – Москва, 2011. – 53 с.

2. Молибден-99 – текущее состояние дел. Доклад из США: [Электронный документ]. – (<http://www.atominfo.ru/news/air5708.htm>). Проверено 20.01.2009.

3. Калинина О. Чехия включилась в решение проблемы недостатка молибдена-99: [Электронный документ]. – (<http://www.emigranty.ru/news.php?nid=76446>). Проверено 23.08.2010.