

24 февраля 2014 г.

ПРЕКРАЩЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОУ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОТОПОВ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИИ И США*

Антон Хлопков, Майлз Помпер, Валерия Чекина**

В последние годы в контексте снижения угрозы ядерного терроризма достигнут значительный прогресс в области минимизации использования высокообогащенного урана (ВОУ) в гражданском секторе. Так, основные мировые производители широко применяемого в медицине изотопа Молибден-99 (Mo-99) предпринимают активные усилия по сокращению на первом этапе и в среднесрочной перспективе – полному отказу от использования ВОУ. Ожидается, что Саммит по ядерной безопасности в Гааге, который состоится 24-25 марта 2014 г., может стать важным этапом на пути достижения этой цели. Некоторые страны считают возможным выработку соответствующей дорожной карты с четкими временными рамками ко встрече глав государств в Нидерландах.

В свою очередь, перед российской атомной промышленностью ставится амбициозная задача войти в тройку глобальных поставщиков Mo-99, на который приходится около 80% всех радиологических процедур в мире, и довести свою долю на рынке медицинских изотопов до 20%. В этой связи необходимо нахождение механизмов, которые бы, с одной стороны, позволили России стать крупным экспортером Mo-99, с другой - оказали бы содействие в адаптации российского производства к новым формирующимся требованиям рынка по наработке медицинских изотопов без использования ВОУ.

Рынки Mo-99 и Tc-99m¹

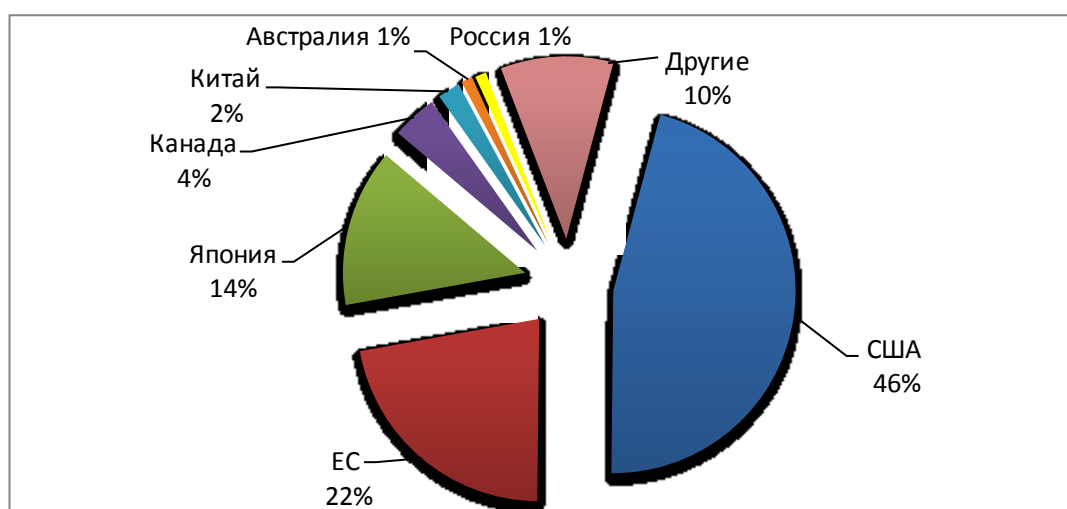
Ежегодно в мире осуществляется около 30 млн. медицинских процедур с использованием изотопа Технеций-99м (Tc-99m), имеющего период полураспада около 6 часов. Около половины из этих процедур приходится на США² (*подробнее структуру рынка потребления см. на Рис. 1*). Изотоп вводится в организм с целью ранней диагностики онкологических, сердечно-сосудистых и ряда других заболеваний. В медицинских учреждениях используются специально разработанные для целей хранения изотопа, удобные

* Исследование подготовлено по заказу Фонда «Инициатива по сокращению ядерной угрозы» (NTI). Взгляды, выраженные в исследовании, являются мнением авторов и не отражают взгляды Фонда или его Совета директоров. Подробная информация о Фонде «Инициатива по сокращению ядерной угрозы» размещена на сайте организации по адресу: <http://www.nti.org/>.

** **Хлопков** Антон Викторович – директор Центра энергетики и безопасности, главный редактор журнала «Ядерный клуб»; **Помпер** Майлз – старший научный сотрудник Центра Джеймса Мартина по изучению проблем нераспространения (США); **Чекина** Валерия Валентиновна – научный сотрудник Центра энергетики и безопасности.

в эксплуатации устройства – генераторы, которые и являются источником Тс-99m, образуемого при распаде Мо-99. Но поскольку последний имеет относительно короткий период полураспада (66 часов), то невозможно создавать его складские запасы. Необходима организация его надежных и непрерывных поставок (один раз в неделю или в некоторых случаях даже чаще) в профильные клиники.

Рис. 1. Рынок потребления Мо-99 по странам/регионам



Источники: The Global Mo-99 Crisis: Australia's Unique Leadership Role. http://www.oecd-nea.org/med-radio/docs/ARI%20Newsletter%20on%20Mo-99_FINAL_02Dec09.pdf (последнее посещение – 11 ноября 2013 г.); Roy W. Brown, Covidien's Progress in Conversion from HEU to LEU Production of Mo-99, The 1st International Business Conference for Suppliers, Producers and Consumers of Isotope Products (IBCI), Moscow, Russia, October 2, 2012. http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical_Areas/RRS/documents/mo99/Peykov1.pdf (последнее посещение – 11 ноября 2013 г.); Электронная переписка авторов статьи с экспертами Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), 19 декабря 2013 г.

Современной спецификой рынка молибдена, несмотря на это, является удаленность его главных центров производства (за исключением Канады) от крупнейшего региона потребления. В США, мировом лидере в потреблении изотопа, Мо-99 в настоящее время не производится. Его основная наработка сосредоточена в других странах (Австралия, ЕС, Канада, ЮАР) на исследовательских и испытательных реакторах и, главным образом, осуществляется путем облучения мишеней на основе ВОУ. Для производства последних, по некоторым оценкам, ежегодно используется 40-50 кг ВОУ³. Для облучения мишеней в некоторых реакторах также используется топливо на основе высокообогащенного урана. После облучения мишени подвергаются переработке на специализированных предприятиях с целью выделения и очистки Мо-99. В дальнейшем изотоп поставляется производителям генераторов, которые затем доставляются в медицинские учреждения или независимым производителям, добавляющим Тс-99m в специальные радиофармпрепараты.

Еще одной спецификой рынка молибдена является высокая концентрация производства. Современный мировой спрос в размере около 10 тыс. Ки в неделю удовлетворяется, главным образом, за счет восьми реакторов (см. *Таблицу 1*). К ним относятся (в порядке убывания мощности производства): реактор BR2 в Бельгии, HFR в Нидерландах, NRU в Канаде, Safari в Южной

Африке, *LVR-15* в Чехии, *MARIA* в Польше, *OSIRIS* во Франции и *OPAL* в Австралии. Каждый из них способен облучать мишени в объеме, достаточном для еженедельного производства 1000 и более кюри Мо-99. Все они, за исключением бельгийского *BR2* и французского *OSIRIS*, уже прошли конверсию с ВОУ на НОУ-топливо⁴. Однако почти все они продолжают использовать ВОУ-мишени (*Safari* облучает как ВОУ, так и НОУ-мишени), учитывая, что большинство из предприятий, где осуществляется переработка облученных мишеней, либо не планируют переходить на НОУ вообще (например, компания *Nordion*, работающая реактором-облучателем *NRU*, который будет закрыт в 2016 г.)⁵, либо все еще находятся в процессе перехода (компании *Covidien* и *IRE*, работающие с европейскими реакторами-облучателями).

Таблица 1. Основные реакторы, где облучаются мишени для производства Мо-99

Реактор	Материал мишени	Число рабочих дней реактора в году	Доступные производственные мощности, Ки (в неделю)	Потенциальное производство, Ки (в год)	Планируемая дата остановки реактора, год
BR-2 (Бельгия)	ВОУ	140	7,800	156,000	2026
HFR (Нидерланды)	ВОУ	280	4,680	187,200	2022
LVR-15 (Чехия)	ВОУ	200	2,800	80,000	2028
MARIA (Польша)	ВОУ	165	1,920	42,500	2030
NRU (Канада)	ВОУ	300	4,680	200,600	2016
OPAL (Австралия)	НОУ	290	1,000	41,450	>2030
OSIRIS (Франция)	ВОУ	200	1,200	34,300	2018
RA-3 (Аргентина)	НОУ	336	400	19,200	2027
Safari-1 (ЮАР)	ВОУ/ НОУ	305	3,000	130,700	2025

Источник: A Supply and Demand Update of the Molybdenum-99 Market. OECD Nuclear Energy Agency. 2012, August, Appendix 1. P. 9. <http://www.oecd-nea.org/med-radio/docs/2012-supply-demand.pdf> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).

На рынке переработки облученных мишеней (производителей Мо-99) преобладают 5 компаний, способных производить 1000 и более кюри в неделю (Таблица 2). К их числу относятся (в порядке убывания мощности переработки): *Nordion* (Канада), *Covidien* (Нидерланды), *NTP* (Южная Африка), *IRE* (Бельгия) и *ANSTO* (Австралия)⁶. На рынке производителей генераторов Тс-99m доминирующие позиции занимают две компании, *Mallinckrodt* (Нидерланды) и *Lantheus Medical Imaging* (США), контролирующие более 80% мирового рынка.

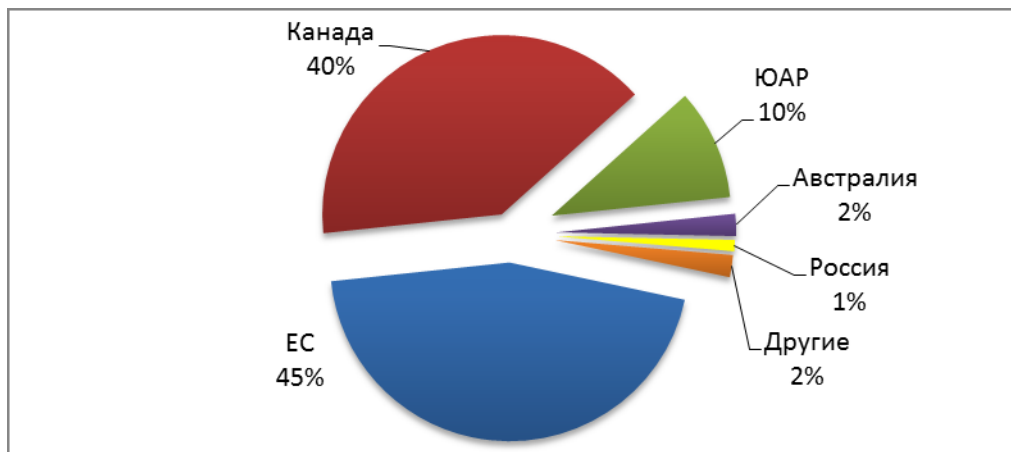
Таблица 2. Крупнейшие производители Мо-99

Компания	Материал мишени	Доступная мощность, Ки (в неделю)	Потенциальная мощность, Ки (в год)	Ожидаемые сроки конверсии на НОУ-мишени
AECL/Nordion (Канада)	ВОУ	7,200	374,400	Не планируется
ANSTO Health (Австралия)	НОУ	1,000	52,000	Изначально спроектировано для использования НОУ-мишеней
CNEA (Аргентина)	НОУ	900	46,800	Конверсия завершена
Covidien (Франция)	ВОУ	3,500	182,000	2015
IRE (Бельгия)	ВОУ	2,500	130,000	2015
NTP (ЮАР)	ВОУ/ НОУ	3,500	156,000	2013

Источники: A Supply and Demand Update of the Molybdenum-99 Market. OECD Nuclear Energy Agency. 2012, August, Appendix 1. P. 9. <http://www.oecd-nea.org/med-radio/docs/2012-supply-demand.pdf> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.); Электронная переписка авторов статьи с экспертами Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), 19 декабря 2013 г.

С учетом объема использования установленных мощностей предприятий, а также малых производителей, рынок производителей Мо-99 имеет вид, представленный на Рис. 2.

Рис. 2. Рынок производства Мо-99 в мире⁷



Источники: Молибден и технеций из Обнинска. *AtomInfo.ru*. 2013, 14 сентября. <http://www.atominfo.ru/newsf/m0378.htm> (последнее посещение – 11 ноября 2013 г.); Logan Michael Scott. Incentivizing Domestic Production of Molybdenum-99 for Diagnostic Medicine. Oklahoma State University. 2013, August. http://www.wise-intern.org/journal/2013/documents/LMS_WISE_2013paper.pdf (последнее посещение - 11 ноября 2013 г.).

Прекращение использования ВОУ в производстве Мо-99: мировые тенденции

Уже более трех десятилетий Россия и США работают над сокращением использования ВОУ в гражданском секторе с целью уменьшения риска ядерного распространения и ядерного терроризма. Центром приложения совместных усилий при участии МАГАТЭ последние 10 лет является проект перевода исследовательских реакторов, построенных по советским проектам за рубежом, на использование НОУ-топлива. Кроме того, ГК «Росатом» и Министерство энергетики США сотрудничают в изучении возможности конверсии некоторых исследовательских реакторов на территории России⁸.

Правительство США поддерживает развитие новых методов производства Мо-99, которые используют НОУ или альтернативные технологии, не требующие ВОУ. В США учреждено несколько инициатив, направленных на поддержку перехода с ВОУ-технологий на альтернативные методы производства. К их числу относится программа развития национального производства изотопов без использования ВОУ, реализуемая при поддержке Конгресса США. Правительство США также предпринимает меры по обеспечению равных рыночных условий для поставщиков Мо-99, произведенного без использования ВОУ, и по стимулированию спроса на медицинские изотопы, полученные таким способом⁹.

США также оказывают поддержку иностранным производителям для их перехода к производству Мо-99 без использования ВОУ. В 2010 г. Национальная администрация по ядерной безопасности (НАЯБ) США¹⁰ объявила о содействии производителям из Австралии и Южной Африки в

осуществлении поставок в США Мо-99, полученного при использовании НОУ-технологий¹¹. В определенные периоды времени (когда останавливались другие крупные реакторы-облучатели) доля австралийских и южноафриканских поставщиков на американском рынке достигала одной трети.

К мерам поддержки и содействия, в частности, относится выдача Администрацией по контролю за продуктами и лекарствами¹² разрешения на использование в США изотопа Тс-99m, полученного из Мо-99, при производстве которого использовался низкообогащенный уран. Кроме того, НАЯБ поддерживает работу МАГАТЭ по развитию небольших региональных производств медицинских изотопов с использованием альтернативных технологий в Восточной Европе, Латинской Америке и других регионах¹³.

Усилия по сокращению использования ВОУ в производстве медицинских изотопов получили международную поддержку в рамках саммитов по ядерной безопасности, которые состоялись в Вашингтоне и Сеуле в апреле 2010 и марте 2012 гг. соответственно. В *Таблице 3* приведены обязательства, которые взяли на себя страны-производители Мо-99 в части постепенного отхода от использования ВОУ.

Таблица 3. Обязательства, принятые странами-участницами Саммита по ядерной безопасности 2012 г. в Сеуле в отношении минимизации использования ВОУ в производстве медицинских изотопов¹⁴

Страна	Обязательства
Бельгия	Участие в проекте по квалификации НОУ-топлива высокой плотности для замены ВОУ в исследовательских реакторах. Конверсия исследовательского реактора и линии по производству медицинских изотопов с ВОУ на НОУ.
Канада	Исследование альтернативного метода замены ВОУ в производстве медицинских изотопов.
Франция	Работа над проектом по замене ВОУ-мишеней на НОУ-мишени. Участие в проекте по квалификации НОУ-топлива высокой плотности для прекращения использования ВОУ в топливе исследовательских реакторов.
Нидерланды	Работа над проектом по замене ВОУ на НОУ-мишени в производстве медицинских изотопов.
Польша	Завершение конверсии реактора «Мария», который используется в качестве облучателя мишеней при производстве Мо-99.
Россия	Совместное изучение с США экономической и технической целесообразности конверсии шести исследовательских реакторов с ВОУ на НОУ-топливо, в том числе, которые используются в качестве облучателей.
Южная Африка	Конверсия производства Мо-99 с ВОУ на НОУ.
Южная Корея	Участие в проекте по квалификации НОУ-топлива высокой плотности для замены ВОУ в исследовательских реакторах.

Источники: Highlights of Achievements and Commitments by Participating States As Stated in National Progress Reports and National Statements. The Seoul Nuclear Security Summit Preparatory Secretariat. The 2012 Seoul Nuclear Security Summit.
https://www.nss2014.com/sites/default/files/documents/highlights_of_the_seoul_nuclear_security_summit120403.pdf (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

Международные усилия по сокращению использованию ВОУ в гражданском секторе совпали по времени с ростом обеспокоенности относительно надежности и стабильности поставок радиоизотопов. В период с 2005 по 2013 г.

медицинские учреждения по всему миру неоднократно сталкивались с серьезным дефицитом Мо-99 в связи с длительными остановками реакторов-облучателей. Эти перебои в поставках продемонстрировали уязвимость всей системы обеспечения радиоизотопами.

На краткосрочную перспективу эти проблемы были решены благодаря повышению кооперации между отдельными производителями. Но в силу растущего мирового потребления радиоизотопов эти временные меры, скорее всего, окажутся недостаточными уже в ближайшие несколько лет в контексте планируемого окончательного вывода из эксплуатации реакторов *NRU* и *OSIRIS*, а также остановки реактора *BR2* более чем на годичный период. В то же время продолжение фактического субсидирования производства изотопов на этих и других «стареющих» реакторах снижает привлекательность инвестирования в новые производственные мощности со стороны частного бизнеса. В результате, нельзя исключать, что уже в 2015-2016 гг. рынок вновь может столкнуться с серьезным дефицитом предложения Мо-99.

Производство Мо-99 в России

В настоящее время Россия занимает скромное место на рынке медицинских изотопов. За последние годы российская доля такого вида продукции не превышала 1% от мирового объема потребления¹⁵. Положение России в глобальном производстве Мо-99 заметно контрастирует с ситуацией на рынке других изотопов. Например, предприятия ГК «Росатом» выпускают более 20% объема всех промышленных изотопов в мире, а по некоторым из них (гелий-3, никель-63, америций-241) доля России составляет все 100%¹⁶.

В то же время существует потенциал для расширения российского присутствия на рынке молибдена с учетом нарастающей тенденции останова и вывода из эксплуатации реакторов, которые в настоящее время используются крупнейшими производителями для облучения мишеней. России для того чтобы изменить существующее положение дел, требуется расширение производства и развитие сети сбыта за рубежом.

В 2010 г. в рамках проекта Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики в ОАО «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград, Ульяновская обл.) были начаты работы общей стоимостью 1 млрд. руб. по строительству новых технологических линий для производства Мо-99. 18 декабря 2010 г. на площадке НИИАР состоялся пуск первой очереди производства Мо-99, которая способна обеспечивать выпуск продукции в объеме от 250 до 400 Ки в неделю. 26 июня 2012 г. было завершено строительство и монтаж установки по переработке облученных мишеней в рамках создания второй производственной линии; однако по состоянию на 1 ноября 2013 г. работы по отладке технологии продолжались. Ожидается, что вывод обеих линий на проектный уровень позволит выйти на мощность 1,200 Ки в неделю^{17, 18}.

Проект направлен как на удовлетворение растущего спроса и стабилизацию поставок на внутреннем рынке, так и на организацию экспортных поставок. В настоящее время онкологические заболевания являются второй по значимости

причиной смертности в России. Более 60% впервые регистрируемых пациентов выявляются на третьей и четвертой стадиях онкологических заболеваний, то есть самых запущенных. В этой связи ставится задача изменить ситуацию за счет активного применения ранней диагностики на основе использования изотопной продукции. До недавнего времени основной спрос на изотоп Мо-99 в России покрывался за счет производства, расположенного в филиале ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (г. Обнинск, Калужская обл., Центральный федеральный округ)¹⁹. При этом отсутствовало дублирующее производство достаточной мощности. В период останова реактора-облучателя, чтобы не срывать контракты на поставку продукции, НИФХИ был вынужден закупать молибден в ЮАР²⁰.

Развитие сети центров радиологической медицины в России даже при наличии политической воли и финансирования требует времени. С учетом ограниченного потребления изотопа Мо-99 в России сегодня (до 100 Ки в неделю) основная продукция НИИАР в краткосрочной и среднесрочной перспективе планируется для поставки на экспорт²¹.

Помимо ОАО «ГНЦ НИИАР», в России имеется еще три центра производства Мо-99, которые расположены в:

- НИИ ЯФ при ТПУ (г. Томск, Томская обл., Сибирский федеральный округ)²²;
- ФГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» (г. Санкт-Петербург, Северо-Западный федеральный округ);
- Филиале ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (г. Обнинск, Калужская обл., Центральный федеральный округ), который уже упоминался выше.

Подробная информация о производителях Мо-99 приводится в *Приложении А*.

Генераторы Тс-99m производятся в России на трех предприятиях – НИФХИ, Физико-энергетическом институте (ФЭИ) им. А.И. Лейпунского и НИИ ЯФ при ТПУ (на последнем в незначительном объеме, только для обслуживания производства Мо-99 на самом предприятии)²³.

Крупнейшее из действующих производств Мо-99 расположено в Филиале ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» и выпускает до 170 Ки товарной продукции в неделю²⁴. Потенциал предприятия позволяет расширение производства до 500 Ки²⁵.

Три из четырех производств Мо-99 в России (НИИАР, ТПУ и НИФХИ) используют реакторы-облучатели на основе ВОУ-топлива, и два из четырех предприятий (НИИАР, НИФХИ) - мишени на основе ВОУ. В *Таблице 3* приводятся сравнительные данные использования ВОУ в топливе облучателей и мишенях при производстве Мо-99 в России и остальном мире. В процентном соотношении количество производств, использующих ВОУ-мишени в России, значительно ниже, чем в остальном мире; обратная картина наблюдается в части топлива облучателей.

Таблица 4. Использование ВОУ-топлива и ВОУ-мишеней в реакторах при производстве Мо-99 в России и остальном мире

	Использование ВОУ-топлива в реакторах-облучателях (% от общего количества реакторов)	Использование ВОУ-мишеней (% от общего производства)
Россия	75%	50%
Другие страны ²⁶ (на июнь 2011г.)	25%	87%

Две производственные линии в ОАО «ГНЦ НИИАР» первоначально были спроектированы под использование в качестве облучателя действующего исследовательского реактора РБТ-10-2 (на основе ВОУ-топлива) и мишеней на основе ВОУ. Представляется, что выбор в части мишеней, с учетом ориентированности проекта в значительной степени на удовлетворение спроса за рубежом, был сделан без глубокого изучения ситуации на рынке и его тенденций, которые сегодня связаны с переходом на использование низкообогащенного урана и альтернативных технологий. Формирование в ведущих странах-потребителях национального законодательства и нормативной базы, стимулирующих потребление Мо-99, произведенного без использования ОУ, потенциально может значительно усложнить продвижение российской продукции на крупнейшие рынки.

Продукция двух из четырех производств Мо-99 в России (Радиевый институт, ТПУ) поставляется только на внутренний рынок; в настоящее время указанные производства не обладают значительными дополнительными мощностями для организации экспортных поставок. В свою очередь, продукция НИИАР и НИФХИ может быть использована как для удовлетворения потребностей внутреннего рынка, так и внешнего.

На регулярной основе Россия экспортирует медицинские изотопы в Иран^{27,28}. Несколько пробных поставок было осуществлено в Индию, Канаду²⁹, Польшу³⁰, Саудовскую Аравию и Филиппины³¹. В случае вывода на проектные значения обеих производственных линий предприятия в Димитровграде, объем производства Мо-99 в России может достигать до 15% мирового спроса³².

Формирование предпосылок для производства Мо-99 в России без использования ВОУ

Увеличение поставок Мо-99 из России способно стабилизировать мировой рынок, который в 2005-2013 гг. неоднократно сталкивался с дефицитом производства. В 2009-2010 гг. кризис предложения стал следствием длительного останова реактора *NRU* в Канаде в условиях невозможности использовать реакторы-облучатели в странах ЕС на полную мощность³³. По некоторым оценкам, в 2010 г. несколько миллионов человек в мире не смогли пройти диагностическое обследование из-за дефицита Мо-99, который составил 7 млн. доз³⁴. В ноябре 2013 г. по техническим причинам были одновременно остановлены сразу три реактора, которые используются крупнейшими поставщиками Мо-99 для облучения мишеней, *HFR* в Нидерландах, *NRU* в Канаде и *Safari-1* в ЮАР. Экспорт российской продукции Мо-99 может

компенсировать дефицит, который образуется после окончательного останова реакторов *NRU* в Канаде и *OSIRIS* во Франции в 2016 и 2018 г. соответственно, а также покрыть растущий мировой спрос на медицинские изотопы.

Неясность объема предложения на рынке молибдена в будущем, включая, когда и сможет ли российское производство выйти на полную мощность, создает трудности для привлечения частных инвестиций. В США четыре компании получили финансовую помощь от НАЯБ на развитие безреакторных технологий производства Мо-99. Ожидается, что одна из них – *Northstar* – введет в эксплуатацию производство на основе ускорительной технологии мощностью 750 Ки в неделю уже в 2014 г. и 3000 Ки – в неделю или около половины сегодняшнего потребления в США - в 2016 г.³⁵. Другие три компании из числа получивших государственную поддержку, как и ряд других коммерческих проектов в этой области, пока не проявляют активности в переходе к промышленному производству Мо-99 или находятся на ранней стадии лицензирования, не имея достаточного финансирования.

В этой ситуации диверсификация поставщиков медицинских изотопов отвечает интересам рынка и потребителей. Увеличение российской доли рынка, с учетом широкого реакторного парка (в НИИАР для облучения мишеней могут использоваться три реактора) и наличия независимых технологических линий по выделению Мо-99 из мишеней в России, способно стабилизировать поставки медицинских изотопов на рынке и с меньшими потерями для потребителей преодолевать кризисы производства в будущем. Очевидно, что рост российского присутствия отвечает интересам США, которые являются крупнейшими мировыми потребителями медицинских изотопов (каждый год более 17 млн. пациентов в США используют в лечении или диагностике радиофармпрепараты или радиоизотопы)³⁶. Последние в настоящее время являются главным потребителем продукции канадского реактора *NRU*, который вскоре будет выведен из эксплуатации.

Несмотря на отсутствие возможности немедленной конверсии производства с ВОУ на НОУ (из-за отсутствия должного финансирования и в некоторых случаях - необходимых технологий), представители ГК «Росатом» и производители молибдена демонстрируют готовность рассмотреть возможность прекращения использования ВОУ в среднесрочной перспективе. В 2012 г. ГК «Росатом» разработала программу по конверсии реакторов и мишеней с ВОУ на НОУ³⁷. В качестве первого шага, исходя из меньшей стоимости работ и доступности соответствующих технологий, рассматривается возможность перевода мишеней на использование низкообогащенного урана. К мерам, объявленным госкорпорацией в том же году, относится пилотный проект по изучению возможности использования НОУ-мишеней для производства Мо-99 на реакторе ВВР-ц, который используется НИФХИ в качестве облучателя, а также по конверсии самого реактора на НОУ-топливо. Переход на НОУ-мишени рассматривается руководством НИФХИ в качестве одного из приоритетных направлений работ в рамках развития предприятия³⁸. Исходя из того, что ранее была успешно осуществлена конверсия реактора ВВР-К в Казахстане, где используются схожие топливные сборки, можно ожидать решение технических вопросов, связанных с разработкой и сертификацией топлива для реактора ВВР-ц, в краткосрочной перспективе³⁹.

Отрадно, что производители отмечают готовность рассмотреть возможности перехода на использование НОУ-мишеней. В рамках гранта Министерства образования и науки «Комплексная модернизация и развитие производства реакторных радионуклидов в ОАО «ГНЦ НИИАР» для обеспечения развития ядерной медицины и радиационных технологий» от 27 декабря 2012 г. начаты исследовательские работы по разработке мишеней на основе НОУ⁴⁰. На Новосибирском заводе химических концентратов (НЗХК), который является поставщиком НИИАР, рассматривают разработку мишени на основе урана с обогащением 19,75% в качестве важного шага на пути к развитию экспортных поставок российского молибдена на западный рынок⁴¹. Согласно настоящим планам НИФХИ и НИИАР, Мо-99 на основе НОУ-мишеней может быть произведен в тестовом режиме на первом предприятии в 2014 г. и в 2015 г. – на втором, а полностью производство может быть переведено на использование НОУ-мишеней в 2016 г. при условии эффективной работы модернизированной технологии производства Мо-99 и наличия экономических предпосылок для перехода к производству медицинских изотопов без использования ВОУ⁴².

ГК «Росатом» и Министерство энергетики США уже реализовали серию из шести проектов по проведению технико-экономического обоснования возможности конверсии исследовательских реакторов. В рамках совместных работ, в частности, подтверждена техническая возможность перевода реактора ИРТ-Т (в ТПУ), который используется для производства Мо-99, на НОУ-топливо. В настоящее время основные усилия сосредоточены на разработке и сертификации нового топлива высокой плотности.

Несмотря на государственное финансирование отдельных исследовательских проектов, связанных с возможным сокращением использования ВОУ при производстве медицинских изотопов, представляется маловероятным повторное выделение целевых бюджетных средств на вновь созданное производство в НИИАР с целью его конверсии на использование НОУ-мишеней. Тем более, что на предприятии продолжается отладка созданной технологии в целях повышения эффективности процесса производства Мо-99. Одновременно маловероятно использование прямого зарубежного финансирования на реализацию конверсии производства. На территории России в целом завершены проекты в рамках программ Глобального партнерства против распространения ОМУ и Нанна-Лугара и есть понимание, что новые проекты в ядерной сфере не должны использовать иностранное финансирование в рамках нераспространенческих программ. Таким образом, представляется, что наиболее эффективным для финансирования проектов по переводу производства Мо-99 на технологии без использования НОУ являются коммерческие инструменты, включая стимулирование спроса на продукцию соответствующих предприятий, доход от реализации которой может быть инвестирован в модернизацию производства в соответствии с новыми требованиями рынка и законодательства отдельных стран. Примером в этой связи может являться НИФХИ: более чем четырехкратное расширение производства Мо-99 в 2008-2011 г. (в том числе, за счет реализации экспортных поставок) дало возможность предприятию за счет собственных средств в качестве предпосылки для выхода на западный рынок изотопа Мо-99

осуществить модернизацию и ввести в эксплуатацию в сентябре 2013 г. цех по зарядке генераторов технеция по требованиям GMP⁴³.

Представляется, что исходя из взаимного интереса, Россия и США могут предпринять совместные усилия по стимулированию российских предприятий к скорейшему переходу на НОУ-мишени и топливо в рамках производства Мо-99 при одновременном значительном увеличении доли России на мировом рынке медицинских изотопов.

Взаимодействие России и США: взгляд в будущее

Рассмотрим практические меры, которые могут быть предприняты для гармонизации стремления российской атомной отрасли стать глобальным поставщиком медицинских изотопов и усилий западных стран (особенно США) по переводу производства Мо-99 на технологии, не использующие ВОУ.

В первую очередь, представляется целесообразным продолжить совместные усилия России и США по разработке нового НОУ-топлива для реакторов ВВР-ц (в НИФХИ) и ИРТ-Т (в ТПУ), которые используются в качестве облучателей при производстве Мо-99, и рассмотреть возможность аналогичных работ по топливу для реактора РБТ-10-2, расположенному в НИИАР.

Также необходимо изучить потенциальные меры стимулирования для перевода производств в НИИАР и НИФХИ на НОУ-мишени. Соединенным Штатам, являющимся крупнейшим мировым потребителем Мо-99, следует рассмотреть возможность применения стимулирующих мер коммерческого характера, в частности, облегчения доступа российской продукции на американский рынок. Подобный шаг со стороны США позволит российским производителям относительно быстро компенсировать затраты на конверсию производства на НОУ-технологии за счет увеличения экспорта медицинских изотопов и окажет стабилизирующее воздействие на предложение Мо-99 на мировом рынке.

В этом контексте США могут принять на себя следующие обязательства (или часть из них):

- осуществлять оптовые закупки препаратов, основанных на Мо-99, произведенном в России без применения ВОУ, в течение оговоренного периода времени и в оговоренном объеме. Особый акцент должен быть сделан на закупки американскими государственными ведомствами, в т.ч. Администрацией по вопросам здоровья ветеранов и Министерством обороны. Соответствующие закупки могут быть начаты в НИФХИ после завершения перевода его производства на НОУ;
- оказать содействие в ускоренном получении разрешения Администрации США по контролю за продуктами и лекарствами на использование на территории Соединенных Штатов радиофармпрепаратов Тс-99m, полученных из Мо-99, который был произведен в России с использованием НОУ;
- осуществлять поддержку усилий по переводу производств в НИИАР и НИФХИ на использование НОУ-мишеней путем софинансирования соответствующих совместных научно-исследовательских работ российских и американских ученых;

- продолжить совместные научно-исследовательские работы по разработке НОУ-топлива высокой плотности;
- в контексте стимулирования конкуренции на мировом рынке оказать неформальное содействие российским производителям НОУ-топлива в организации поставок на исследовательские реакторы третьих стран.

Россия при этом может рассмотреть возможность принятия на себя следующих обязательств:

- прекратить использование ВОУ в производстве Мо-99 в соответствии с согласованными дорожной картой и графиком;
- до прекращения использования ВОУ поставлять производимый Мо-99 только на внутренний рынок и его нынешним зарубежным потребителям; осуществлять поставки в другие страны, включая США, в случае запроса последних при возникновении дефицита предложения на мировом рынке;
- использовать доходы от оптовых поставок Мо-99 американским государственным организациям на конверсию сначала мишеней, а затем - топлива реакторов-облучателей на НОУ, где это технологически возможно.

Координация российско-американского сотрудничества в области минимизации использования ВОУ в производстве медицинских изотопов должна осуществляться в рамках Рабочей группы по ядерной энергетике и ядерной безопасности двусторонней российско-американской Президентской комиссии. При этом целесообразно данный вопрос рассматривать в контексте развития научно-исследовательского сотрудничества двух стран, нежели в контексте нераспространения. В этой связи целесообразно создание новой подгруппы 'Неэнергетическое применение ядерных технологий' в рамках указанной группы и передача ей соответствующего вопроса из подгруппы по минимизации использования ВОУ.

Приложение А. Российские производители Мо-99.

Ведомственная принадлежность	Производитель	Метод производства/ реактор	Использование ВОУ в топливе/ мишени	Начало производства Мо-99	Рыночный ориентир	Комментарии
Министерство образования и науки РФ	НИИ ЯФ при ТПУ, г. Томск, Томская обл., Сибирский федеральный округ	Активационный / ИРТ-Т ⁴⁴	Да/ Нет ⁴⁵	1985 г. ⁴⁶	Внутреннее потребление	Реактор является участником проекта ГК «Росатом» и Министерства энергетики США по изучению возможности конверсии исследовательских установок на НОУ-топливо. В рамках совместных работ подтверждена техническая возможность его перевода на НОУ. Ведутся работы по разработке и сертификации нового высокоплотного топлива для конверсии реактора ⁴⁷ .
Государственная корпорация «Росатом»	ФГУП НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург, Северо-Западный федеральный округ	Активационный/ РБМК-1000 ⁴⁸	Нет / Нет	1997 г. ⁴⁹	Внутреннее потребление	Институт работает в сотрудничестве с ЛАЭС, где на реакторе РБМК-1000 облучают Мо-98.
	Филиал ФГУП «НИФХИ им. Л. Я. Карпова», г. Обнинск, Калужская обл., Центральный федеральный округ	Осколочный / ВВР-ц ⁵⁰	Да/ Да	1985 г. ⁵¹	Внутреннее потребление/ Экспорт	Институт сотрудничает с ФГУП «ГНЦ РФ ФЭИ» им. А.И. Лейпунского, где производят генераторы Тс-99m.
	ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград, Ульяновская обл., Приволжский федеральный округ	Осколочный / РБТ-10-2 ⁵²	Да/ Да	2010 г. ⁵³ (первая произв. линия) 2012 г. ⁵⁴ (вторая произв. линия)	Внутреннее потребление/ Экспорт	Создание производства Мо-99 реализуется в рамках проекта Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики ⁵⁵ . Сроки создания производства – 2010-2013 гг. ⁵⁶ . По состоянию на 1 декабря 2013 г. промышленное производство Мо-99 начато не было.

Примечания:

¹ При подготовке этого и других разделов статьи использованы следующие материалы: Loukianova Anya. What the Doctor Ordered: Eliminating Weapons-Grade Uranium from Medical Isotope Production. 2012, September 5. <http://www.nti.org/analysis/articles/what-doctor-ordered-eliminating-weapons-grade-uranium-medical-isotope-production/> (последнее посещение – 5 декабря 2013 г.); Pomper Miles. The 2012 Nuclear Security Summit and HEU Minimization. *USKI Working Paper Series*. 2012, January. http://uskoreainstitute.org/wp-content/uploads/2012/01/USKI_NSS2012_Pomper.pdf (последнее посещение - 20 декабря 2013 г.).

² Szymanski John, Staples Parrish. Ensuring a Reliable Supply of Medical Radioisotopes. Office of Science and Technology Policy. 2012, March 27. <http://www.whitehouse.gov/blog/2012/03/27/ensuring-reliable-supply-medical-radioisotopes> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).

³ Parrish Staples, Chairman's Summary, Mo-99 Topical Meeting, Chicago, April 2013. http://mo99.ne.anl.gov/2013/pdfs/2013Mo99_Chairmans_Summary.pdf (последнее посещение - 20 декабря 2013 г.). Канадский реактор *NRU* использует БОУ американского происхождения; европейские производители Мо-99 также обычно применяют американский БОУ и имеют опыт использования российского БОУ; ЮАР при производстве мишеней использует БОУ отечественного производства.

⁴ A Supply and Demand Update of the Molybdenum-99 Market. OECD Nuclear Energy Agency. 2012, August, Appendix 1. P. 9. <http://www.oecd-neo.org/med-radio/docs/2012-supply-demand.pdf> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).

⁵ Компания *Nordion* имеет техническую возможность для перевода своих производственных линий на переработку БОУ-мишеней, однако делать этого не планирует, учитывая, что в 2016 г. реактор *NRU* должен быть остановлен и закрыт, а рассматривавшиеся в качестве замены ему реакторы *MAPLE* так и не были построены. В настоящее время компания «по всему миру изучает возможные источники надежных и долгосрочных поставок медицинских изотопов». В числе объектов внимания *Nordion* российские реакторы и производственные линии по выделению Мо-99, а также потенциальные канадские производители изотопов на основе циклотронов. См.: 'Global Experience, Global Opportunity. *Nordion Annual Report* 2012. P. 4-5, 13, 22. http://www.nordion.com/reports/2012_engannual.pdf (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.); Jill Chitra (*Nordion*), Mo-99 Supply: LEU Conversion Outlook and Activities, Nuclear Security Side Event Meeting, Buenos Aires, November 4, 2010. http://www.invap.com.ar/en/newsroom/download/doc_download/42-3-mo-99-supply-leu-conversion-outlook-and-activities-jill-chitra-nordion.html (последнее посещение - 20 декабря 2013 г.).

⁶ A Supply and Demand Update of the Molybdenum-99 Market. OECD Nuclear Energy Agency. 2012, August, Appendix 1. P. 9. <http://www.oecd-neo.org/med-radio/docs/2012-supply-demand.pdf> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).

⁷ В ЕС существуют три основных производителя Мо-99 (в % мирового объема производства): Нидерланды (25%), Бельгия (10%) и Франция (10%). На реакторах *MARIA* (Польша) и *LVR-15* (Чехия) облучают урановые мишени, которые в дальнейшем отправляют для переработки и выделения Мо-99 в Нидерланды и Бельгию соответственно. См.: 'The Medical Isotope Crisis. <http://www.euronuclear.org/1-information/news/medical-isotope-crisis.htm> (последнее посещение - 18 декабря 2013 г.).

⁸ Подробнее см.: 'Совместное заявление сопредседателей Рабочей группы по ядерной энергетике и ядерной безопасности в рамках двусторонней российско-американской президентской комиссии, 23 июня 2013 г. http://www.rosatom.ru/resources/3685c500403d6fd599e6fbfcca3919a2/rus_us_zayavl.pdf (последнее посещение - 20 августа 2013 г.).

⁹ Encouraging Reliable Supplies of Molybdenum-99 Produced without Highly Enriched Uranium. 2012, June 7. <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/06/07/fact-sheet-encouraging-reliable-supplies-molybdenum-99-produced-without-> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.); The American Medical Isotopes Production Act Passed as Part of the Fiscal 2013 National Defense Authorization Act. Public Law 112-239; Jeff Chamberlin, The Role of International Cooperation Programs in International HEU Minimization, The Second International Symposium on HEU Minimization, Vienna, Austria, January 2012. https://www.nti.org/media/pdfs/Staples_-_HEU_Symposium_-_Vienna_24_jan_2012.pdf?_id=1328045934 (последнее посещение – 20 декабря 2013 г.). В рамках стимулирования спроса офисам Администрации по вопросам здоровья ветеранов было

рекомендовано закупать Mo-99, произведенный без использования ВОУ. Такие закупки уже начались.

¹⁰ The National Nuclear Security Administration (NNSA).

¹¹ В 2010 г. южноафриканской компании *NTP Radioisotopes* было выделено НАЯБ 25 млн. долл. на цели перевода изотопного производства на НОУ и получение необходимых разрешений на использование в США Mo-99, произведенного на основе НОУ. См.: 'US Govt Contract for SA Medical Isotopes. 2010, November 5. http://www.southafrica.info/business/success/necsa-051110.htm#UtHG_vRdX6I (последнее посещение – 20 декабря 2013 г.)'. Бельгийскому Национальному институту радиоэлементов (IRE) также было оказано содействие со стороны правительства США для проведения конверсии; представители Нидерландов от предложенной поддержки отказались.

¹² The Food and Drug Administration (FDA).

¹³ См.: 'CRP on Production of Mo-99 from LEU or Neutron Activation. http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical_Areas/RRS/mo99.html (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.)'.

¹⁴ В ходе Саммита по ядерной безопасности 2010 г. в Сеуле участники согласились сотрудничать «в сфере исследования и развития новых технологий, которые не требуют ни высокообогащенного уранового топлива для обеспечения работы реакторов, ни мишеней, содержащих высокообогащенный уран для производства медицинских или иных изотопов», а также «поощрять использование низкообогащенного урана и иных устойчивых с точки зрения распространения технологий и видов топлива для различного коммерческого применения, такого как производство изотопов». Стороны также согласились «[...] предоставлять помощь тем государствам, которые ее запросят, на обеспечение физической безопасности, учета, консолидации и конверсии ядерных материалов». См.: 'Working Materials. Consultancy on Conversion Planning for Mo-99 Production Facilities from HEU to LEU. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 24-27 August 2010. http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical_Areas/RRS/documents/mo99/WORKINGMATERIAISmo99CM.pdf (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.)'.

¹⁵ Першуков В.А. Современное состояние производства изотопов в России. 7-ая Международная Конференция по изотомам (*IC17*). Москва, Россия, 4-8 сентября 2011 г.; оценки авторов на основании российского объема производства Mo-99 и общего объема производства.

¹⁶ Першуков В.А. Современное состояние производства изотопов в России. 7-ая Международная Конференция по изотомам (*IC17*). Москва, Россия, 4-8 сентября 2011 г.; Консолидация источников. *Вестник Атомпрома*. 2010, №4. С. 12.

¹⁷ В НИИАР состоялось горячее тестирование второй очереди производства Mo-99. *Nuclear.Ru*. 2012, 21 декабря. <http://www.rosatom.ru/journalist/atomicsphere/fl18742804de380dea2acbfdcac52bcd5> (последнее посещение - 5 декабря 2012 г.).

¹⁸ Первоначально проект предусматривал создание двух производственных линий проектной мощностью 900 и 1800 Ки в неделю (общая мощность – 2,700 Ки). Позднее планы были пересмотрены в сторону уменьшения до 400 и 800 Ки соответственно (общая - 1200 Ки). Среди основных причин такого шага: 1) технологические трудности, связанные с тем, что приобретенная технология ранее не использовалась для производства Mo-99 в промышленных масштабах и на современном этапе ее отладка не позволяет достичь первоначально заложенных в качестве целевых показателей производства; 2) снижение мирового потребления Mo-99; 3) отсутствие твердых контрактов на поставку изотопа Mo-99, который в силу короткого периода полураспада изотопа, не подлежит складированию. См. 'ОАО «ГНЦ НИИАР» запустил производство молибдена-99. 2010, 19 декабря. http://www.niiar.ru/?q=arh_news/2010 (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.); Двигаться шаг за шагом. *Известия*. 2012, 18 октября. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4071> (последнее посещение – 7 декабря 2013г.); Овчинников Даниил. С прицелом на мишень. *Вперед* (Газета ОАО «НЗХ»). 2013, №5. С. 2. <http://www.nccp.ru/upload/iblock/9f4/9f4dd8f423974b8f1b71b027c8bf54e9.pdf> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.)'.

¹⁹ НИФХИ - Научно-исследовательский физико-химический институт.

²⁰ Перед рывком. 2009, 9 сентября. <http://newsreda.ru/?p=1170> (последнее посещение – 7 декабря 2013 г.).

- ²¹ Консолидация источников. *Вестник Атомпрома*. 2010, апрель. №4. С. 12. http://www.rosatom.ru/resources/28537a00435120c2ba1dfec5687e4a83/VESTNIK_04_10.pdf (последнее посещение – 28 августа 2013 г.).
- ²² НИИ ЯФ при ТПУ - Научно-исследовательский институт ядерной физики при Национальном исследовательском университете «Томский политехнический университет».
- ²³ Россия - спаситель мира в поддержке радионуклидной диагностики: эксперт. *ИА Regnum*. 2010, 30 апреля. <http://www.regnum.ru/news/russia/1279663.html#ixzz2mqBYoV6z> (последнее посещение – 7 декабря 2013 г.).
- ²⁴ Олег Кочнов: мы слов на ветер не бросаем. *AtomInfo.Ru*. 2012, 22 июня. <http://www.atominfo.ru/newsb/k0358.htm> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).
- ²⁵ Виктор Бокшиц: в ближайшие полгода мы надеемся закончить модернизацию цеха генераторов технеция. *Atominfo*. 2011, 15 сентября. <http://www.atominfo.ru/news8/h0086.htm> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).
- ²⁶ The Supply of Medical Radioisotopes. Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). 2012. P. 17. <http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2012/7129-leu.pdf> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).
- ²⁷ Молибден по-мирному. ФГУП НИФХИ им. Л.Я. Карпова. 2011, 4 марта. <http://www.karpoivpc.ru/index.php/new/295-molibden-po-mirnomu> (последнее посещение – 5 декабря 2013 г.); ОАО «В/О Изотоп» выходит на новые рынки сбыта. *Дайджест «Программа радиационных технологий»*. 2012, №3. С. 7. <http://www.isotop.ru/files/digests/1300/files-1394.pdf> (последнее посещение - 27 августа 2013 г.).
- ²⁸ Поставки Мо-99 в Иран начались в апреле 2011 г. и осуществляются на регулярной основе объемом до 70 шестидневных Ки. См. ‘Россия начала регулярные поставки молибдена-99 в Иран. *Atominfo.ru*. 2011, 10 мая. <http://www.atominfo.ru/news6/f0616.htm> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).’
- ²⁹ Партия медицинского радиоизотопа молибдена-99 отгружена в Канаду. *РИА Новости*. 2010, 23 декабря. http://ria.ru/nano_news/20101223/312531802.html (последнее посещение - 27 августа 2013 г.).
- ³⁰ Институт НИФХИ поставил Польше пробную партию изотопа для медицинских целей. *AtomInfo.ru*. 2010, 24 мая. <http://www.atominfo.ru/news2/b0011.htm> (последнее посещение - 5 декабря 2013 г.).
- ³¹ Специализированный цех зарядки генераторов технеция-99m открыт. 2013, 14 сентября. <http://www.nifhi.ru/ru/events/news/tceh/default.aspx> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).
- ³² Программа инновационного развития и технологической модернизации ГК «Росатом» на 2011-2020 гг. предусматривала увеличение к 2013 г. доли Госкорпорации на мировом рынке Мо-99 до 25%. Уже к 2012 г. планировалось занять до 10% мирового рынка. Однако оба целевых показателя достигнуты не были. См. ‘Росатом до 2013 г. вложит более 1 млрд. руб. в производство медицинского изотопа молибден-99. *РИА Новости*. 2011, 15 апреля’.
- ³³ Civilian HEU: Canada. 2012, 15 November. <http://www.nti.org/analysis/articles/civilian-heu-canada/> (последнее посещение – 20 августа 2013 г.).
- ³⁴ Силкин А.Н. Создание комплекса по производству радиоизотопов молибден – 99: результаты реализации проекта за 2010 г. Материалы заседания рабочей группы «Ядерные технологии» Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России. Москва, 23 декабря 2010 г. <http://www.i-russia.ru/media/files/41d344cb8c62d93c5310.pptx> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.); CORAR Formally Requests That French Government Extend Medical Isotope Production of Osiris Research Reactor through 2018 to Support Reliable Supply of Molybdenum (Mo-99). 2013, September 3. <http://www.corar.org/blog/2013/9/3/corar-formally-requests-that-french-government-extend-medical-isotope-production-of-osiris-research-reactor-through-2018-to-support-reliable-supply-of-molybdenum-mo-99> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).
- ³⁵ NNSA Awards Funding to Accelerate Non-HEU-Based Production of Molybdenum-99 in the United States. National Nuclear Security Administration. 2013, November 25. <http://nnsa.energy.gov/mediaroom/pressreleases/mo99> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).
- ³⁶ CORAR Formally Requests That French Government Extend Medical Isotope Production of Osiris Research Reactor Through 2018 To Support Reliable Supply of Molybdenum (Mo-99). 2013, September 3. <http://www.corar.org/blog/2013/9/3/corar-formally-requests-that-french-government-extend-medical->

isotope-production-of-osiris-research-reactor-through-2018-to-support-reliable-supply-of-molybdenum-99 (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).

³⁷ Завершена 1-я Международная бизнес-конференция производителей, поставщиков и потребителей изотопной продукции. *Дайджест «Программа радиационных технологий»*. 2012, №3. С. 2. <http://www.isotop.ru/files/digests/1300/files-1394.pdf> (последнее посещение - 27 августа 2013 г.).

³⁸ Молибден и технеций из Обнинска. *Atominfo.ru*. 2013, 14 сентября. <http://www.atominfo.ru/newsf/m0378.htm> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

³⁹ Архангельский Н.В. Перспективы и прогресс Российской Федерации в области минимизации гражданского использования ВОУ. Международная конференция, посвященная реализации Программы снижения обогащения топлива исследовательских и испытательных реакторов (RERTR-2012). Варшава, Польша, 15 октября 2012 г.

⁴⁰ Список победителей открытого публичного конкурса по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства. Запись №32. Официальный сайт Министерства образования и науки РФ. 2012, 27 декабря. <http://минобрнауки.рф/документы/2950> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

⁴¹ Овчинников Даниил. С прицелом на мишень. *Вперед* (Газета ОАО «НЗХ»). 2013, №5. С. 2. <http://www.nccp.ru/upload/iblock/9f4/9f4dd8f423974b8f1b71b027c8bf54e9.pdf> (последнее посещение - 7 декабря 2013 г.).

⁴² Группа высокого уровня ОЭСР обсудила вопросы обеспечения бесперебойных поставок Мо-99. Новости ОАО «В/О «Изотоп». 2014, 30 января. <http://www.isotop.ru/view/1579/> (последнее посещение - 5 февраля 2014 г.); Российское производство Мо-99 будет переведено на использование НОУ к 2016 году. *Nuclear.ru*. 2014, 30 января. <http://nuclear.ru/news/90081/> (последнее посещение - 5 февраля 2014 г.); Дефицитный молибден. *Атомный эксперт*. 2014, 19 января.

⁴³ Кочнов О.Ю. Научно-технологическое развитие производства радионуклида медицинского назначения ⁹⁹Мо и молибден-технециевых генераторов с помощью исследовательского реактора ВВР-Ц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2011. С. 18; Обнинские генераторы технеция. *Atominfo.ru*. 2013, 3 сентября. <http://www.atominfo.ru/newsf/m0254.htm> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

⁴⁴ Молибден и технеций из Обнинска. *AtomInfo.ru*. 2013, 14 сентября. <http://www.atominfo.ru/newsf/m0378.htm> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

⁴⁵ Научно-производственный участок получения радиофармпрепаратов из реакторных нуклидов. Радиевый институт им. В.Г. Хлопина. http://www.khlopin.ru/radiopharm_fabricating.php (последнее посещение - 27 августа 2013 г.); Кочнов О.Ю. Научно-технологическое развитие производства радионуклида медицинского назначения ⁹⁹Мо и молибден-технециевых генераторов с помощью исследовательского реактора ВВР-Ц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2011. С. 13; Атом благородный. *AtomInfo.Ru*. 2011, 5 сентября. <http://www.atominfo.ru/news8/h0018.htm> (последнее посещение - 28 августа 2013 г.).

⁴⁶ Скуридин В.С. Методы и технологии получения радиофармпрепаратов. Томск: Изд. ТПУ, 2007. С. 97.

⁴⁷ Совместное заявление сопредседателей Рабочей группы по ядерной энергетике и ядерной безопасности в рамках двусторонней российско-американской президентской комиссии, 23 июня 2013 г. http://www.rosatom.ru/resources/3685c500403d6fd599e6fbfcca3919a2/rus_us_zayavl.pdf (последнее посещение - 20 августа 2013 г.).

⁴⁸ Молибден и технеций из Обнинска. *AtomInfo.ru*. 2013, 14 сентября. <http://www.atominfo.ru/newsf/m0378.htm> (последнее посещение - 6 декабря 2013 г.).

⁴⁹ Отдел радиационных технологий. Официальный сайт Ленинградской атомной электростанции. <http://www.lnpp.ru/ort/radio1.html> (последнее посещение - 9 августа 2013 г.).

⁵⁰ ВВР-ц – исследовательский ядерный реактор (водо-водяной реактор-целевой). Год создания – 1964. Топливо – 36% обогащение по ²³⁵U. Мощность – 15 МВт. Лицензия до 22.09.2014. См.: Дьяков А.С. О конверсии российских исследовательских реакторов. Центр по изучению проблем контроля над вооружениями, энергетики и экологии. <http://www.armscontrol.ru/pubs/conversion-of-research-reactors-in-russia.pdf> (последнее посещение - 27 августа 2013 г.).

⁵¹ Кочнов О.Ю. Научно-технологическое развитие производства радионуклида медицинского назначения ⁹⁹Мо и молибден-технециевых генераторов с помощью исследовательского реактора ВВР-Ц. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2011.

С. 17. <http://www.karpovipc.ru/index.php/new/290-40000-generators> (последнее посещение - 8 августа 2013 г.).

⁵² РБТ-10 – ядерный реактор бассейновый. Год создания – 1984. Топливо – 90% обогащение по ^{235}U . Мощность – 10 МВт. Лицензия до 30.06.2016. См.: ‘Дьяков А.С. О конверсии российских исследовательских реакторов. Центр по изучению проблем контроля над вооружениями, энергетики и экологии. <http://www.armscontrol.ru/pubs/conversion-of-research-reactors-in-russia.pdf> (последнее посещение - 27 августа 2013 г.)’.

⁵³ ПЭТ на здоровье! *Атомный эксперт*. 2011, №2. <http://atomexpert.org/sites/default/files/AE%23002.pdf> (последнее посещение – 9 августа 2013 г.).

⁵⁴ Запуск второй производственной линии был осуществлен в декабре 2012 г. Годовой отчет ОАО «ГНЦ-НИИАР» за 2012 г. http://www.niiar.ru/sites/default/files/report_2012.pdf (последнее посещение - 16 августа 2013 г.).

⁵⁵ В НИИАР состоялось горячее тестирование второй очереди производства Мо-99. *Nuclear.ru*. 2012, 21 декабря.

⁵⁶ Паспорт Программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2020 года (в гражданской части). http://www.rosatom.ru/resources/25232a804a57ef1198719e13c5b23fe1/innov_pasport_2020.pdf (последнее посещение - 20 августа 2013 г.).