

# МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЫНКИ ИЗОТОПОВ

С.З. Жизнин, В.М. Тимохов

---

Центр энергетической дипломатии и геополитики. 119 019, Россия, Москва, Гоголевский бульвар, 17.

*В настоящей работе исследуются мировые рынки стабильных и радиоактивных изотопов. Изотопы нашли разнообразное применение в науке, промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях экономики, но особенно - в медицине. Ядерная медицина интенсивно развивается во всём мире благодаря успехам в лечении различных заболеваний с помощью радиоактивных фармацевтических препаратов (РФП).*

*Для изучения мирового рынка РФП в работе были использованы результаты прогноза, выполненного в 2015 г. исследовательской компанией Markets and Markets для европейского, североамериканского, а также глобального рынков.*

*В работе анализируются статистические данные по мировому экспорту и импорту природного урана, обогащённого и обеднённого урана, плутония, тория и некоторых стабильных изотопов немедицинского назначения, представленные компанией Trend ecomoty на 2014 г.*

*Несмотря на наличие созданной в СССР уникальной производственной базы для производства изотопов, на мировом рынке ядерной медицины Россия занимает скромные позиции, за исключением отдельных направлений. Более 80% изотопной продукции, производившейся советскими предприятиями, потреблялось внутри страны, а экспортировались стабильные и радиоактивные изотопы примерно в равных долях. Сейчас в стране внутренний рынок РФП развит очень слабо. Чтобы кардинально изменить сложившуюся ситуацию, необходимо провести реформы, стимулирующие развитие ядерной медицины.*

**Ключевые слова:** изотопы, ядерная медицина, ядерные реакторы.

**И**зотопами называются разновидности атомов одного химического элемента, в котором атомные ядра содержат одинаковое число протонов и различное число нейтронов. При этом все изотопы этого элемента имеют одинаковое количество электронов в атомной оболочке, занимают одно место в периодической системе химических элементов и отличаются друг от друга массами атомов. Термин «изотоп» был предложен английским радиохимиком Ф. Содди в 1912 г. Его синонимом является часто встречающийся в литературе термин «нуклид» (вид атома с данными числами протонов и нейтронов в ядре). Нуклид характеризует свойства, как природных атомов, так и их изотопов. Термин «химический элемент» — это совокупность атомов с заданным значением заряда ядра (числом протонов).

На сегодняшний день обнаружено 118 химических элементов. 92 из них существуют в природе, другие элементы получены искусственным путём с очень малым периодом жизни. Есть предположение, что в природе существует около 7000 изотопов, которые живут дольше, чем несколько наносекунд, но на сегодняшний день обнаружена половина из них<sup>1</sup>.

Изотопы одного и того же элемента часто имеют совершенно различные свойства, что делает некоторые из них очень ценными для практического применения, а другие изотопы — пока бесполезными.

Все существующие изотопы подразделяются на стабильные и нестабильные (радиоактивные).

*Стабильные* изотопы (нуклиды) не подвергаются радиоактивному распаду, поэтому они сохраняются в природных условиях в течение длительного периода времени. Примеры стабильных изотопов: углерод-12,13 (<sup>12,13</sup>C), кислород-16 (<sup>16</sup>O), фтор-19 (<sup>19</sup>F) и др. Всего известно около 300 стабильных изотопов. Из них состоит большинство химических элементов в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. Наибольшее число стабильных изотопов имеет олово (10 изотопов), а алюминий, наоборот, имеет только один стабильный изотоп, остальные его изотопы неустойчивы.

*Радиоактивные* изотопы (радионуклиды) самопроизвольно распадаются, испуская при этом α-, β- или гамма-излучения. В процессе радиоактивного распада они превращаются в изотопы других элементов до тех пор, пока не образуются стабильные изотопы. Радиоактивные изотопы получены для всех химических элементов. Их известно более 3000.

По химическим свойствам радиоактивные изотопы почти не отличаются от стабильных, но, благодаря своим «излучательным» свойствам, они часто используются в качестве «меченых» атомов — атомов, которые позволяют

следить за поведением всех атомов данного элемента и за их передвижением путём измерения их радиоактивности.

Стабильные и радиоактивные изотопы и связанные с ним эффекты широко применяются в научных исследованиях, промышленности, сельском хозяйстве, медицине, биологии, химии, физике, экологии, измерительной технике. Некоторые изотопы урана и плутония являются топливом для атомных электростанций, а также используются в качестве ядерного оружия. Изотопы водорода — дейтерий (<sup>2</sup>H) и тритий (<sup>3</sup>H) — планируются в качестве основных компонентов топлива термоядерных реакторов.

Широкие перспективы открывает ядерная медицина, основанная на применении изотопных технологий, поэтому в статье большое внимание уделено вопросам развития ее рынков.

Благодаря высокому технологическому прогрессу в сочетании с развитой экономикой США имеют самую большую долю на рынке ядерной медицины, за ними — Азиатско-Тихоокеанский регион и Европа. США — лидер по развитию ядерной медицины, количество выполненных в стране медицинских процедур в 2015 году составило около 15 млн [15]. Следует отметить, что, несмотря на большое количество литературы по этой тематике, надёжных статистических данных нет. Между ними существует значительный разброс. Так, в российском источнике [4] указано для США 100 млн лабораторных тестов (ежегодно) на 2000 г.. На этот источник ссылаются разные специалисты из России, перенося такие данные на последующие годы. Чтобы подробно разобраться в этом вопросе нужно специальное исследование, что не является целью этой статьи.

### **Применение изотопов в медицине**

Мировая ядерная медицина потребляет более 50% всей производимой изотопной продукции [5]. В настоящее время она достигла значительных успехов в производстве различных радиоактивных фармацевтических препаратов (радиофармпрепаратов, РФП). РФП — это диагностические и лечебные средства, в состав которых входят радиоактивные изотопы, используемые для диагностики и лечения различных заболеваний. Регистрация ядерного излучения, входящего в состав РФП радиоизотопа, даёт возможность легко следить за его поведением и распределением в организме. Радионуклиды позволяют контролировать физиологические и биохимические процессы, не вмешиваясь в их ход и не нарушая естественного их течения.

Радионуклиды для ядерной медицины и соответствующие РФП на их основе с точки зрения области их применения классифициру-

<sup>1</sup> U.S. Department of Energy. Meeting isotope needs and capturing opportunities for the future: the 2015 long range plan for the doe-np isotope program. URL: <http://science.energy.gov/np/nsac/reports> (дата проверки: 30.07.2016.).

ют по отдельным группам как *диагностические* и *терапевтические*.

**Диагностическое назначение.** В зависимости от типа излучения радионуклиды могут быть отнесены к двум группам:

1. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ, англ. SPECT). К оптимальным радионуклидам для ОФЭКТ относятся – излучатели с энергией квантов в пределах 100–200 кэВ и периодами полураспада от нескольких минут до нескольких дней.

Подавляющее большинство диагностических процедур с помощью техники ОФЭКТ выполняется в течение последних 30 лет препаратами  $^{99m}\text{Tc}$ . Широко используются также радиоизотопы таллий-201 ( $^{201}\text{Tl}$ ), галлий-67 ( $^{67}\text{Ga}$ ), и йод-123 ( $^{123}\text{I}$ ). Характерной особенностью ОФЭКТ-процедур является их относительная дешевизна. Так по некоторым данным, её стоимость процедуры с изотопом  $^{99m}\text{Tc}$  составляет от \$ 100 до 3500.

2. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ, англ. PET). Для этой процедуры обычно используются  $\beta^+$  излучатели с периодами полураспада от нескольких секунд до нескольких часов. Среди позитрон-излучающих радионуклидов в основном используются углерод-11 ( $^{11}\text{C}$ ),  $^{13}\text{N}$ , кислород-15 ( $^{15}\text{O}$ ) и фтор-18 ( $^{18}\text{F}$ ). Изотоп  $^{18}\text{F}$  применяется наиболее широко. Значительное количество публикаций посвящено использованию генераторных галлий-68 ( $^{68}\text{Ga}$ ) и рубидий-82 ( $^{82}\text{Rb}$ ). Стоимость ПЭТ-процедуры значительно выше, чем ОФЭКТ. Она меняется от \$ 1000 до 35000 [9,10]. По мнению экспертов, следует ожидать увеличения использования и других позитрон-излучающих радионуклидов, поскольку, несмотря на достаточно высокую стоимость ПЭТ, это направление бурно развивается.

**Терапевтическое назначение.** В препаратах для проведения терапии радиоактивный изотоп является основным лечебным средством, которое позволяет локализовать лечебную дозу излучения непосредственно в органе-мишени или

в пораженных клетках, и, соответственно, обеспечить минимальное облучение окружающих здоровых клеток органов и тканей. В зависимости от характера и локализации патологического процесса для радиотерапии используют:

- $\beta$ - излучатели с энергиями  $\beta$  (-) частиц в области 200-2000 кэВ;
- $\alpha$ -излучатели с высокой линейной передачей энергии и коротким пробегом частиц (50-100 мкм);
- радиоизотопы, распадающиеся электронным захватом (ЭЗ) или внутренней электронной конверсией (ВЭК). Обычно используются для брахитерапии.

Классификация основных радиофармпрепаратов, используемых в ядерной медицине, приведена в таблице 1.

Для получения радионуклидов используются: а) ядерные реакторы ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{99m}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ). Реакторный способ является наиболее простым и экономичным, однако многие ценные в практическом отношении изотопы в реакторе получить невозможно; б) линейные ускорители заряженных частиц, циклотроны. Получают радионуклиды с оптимальными физическими характеристиками для ОФЭКТ. Это -  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{103}\text{Pd}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ , и др.;

в) генераторы радионуклидов. Позволяют многократно получать препараты непосредственно на месте их использования путём разделения генетически связанных между собой радионуклидов – материнского и дочернего. Дочерний, как правило, имеет более короткий период полураспада и постоянно образуется (генерируется) из материнского ( $^{99m}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{82}\text{Rb}$  и др.).

### Рынки ядерной медицины

Достижения в области лечения онкологических заболеваний и болезней сердечнососудистой системы с помощью РФП явилось основным фактором появления рынка ядерной медицины (а также рынка радиофармпрепаратов) и его стремительного роста с каждым годом<sup>3</sup>.

Таблица 1.

Основные радиофармпрепараты для ядерной медицины

1	Диагностическое назначение		Терапевтическое назначение		
	ОФЭКТ	ПЭТ	Бета-излучатели	Альфа-излучатели	Брахитерапия
2	$^{99m}\text{Tc}$ , $^{201}\text{Tl}$ , $^{67}\text{Ga}$ , $^{123}\text{I}$ и др.	$^{18}\text{F}$ , $^{82}\text{Ru}$ , $^{11}\text{C}$ , $^{13}\text{N}$ , $^{15}\text{O}$ и др.	$^{131}\text{I}$ , $^{153}\text{Sm}$ , $^{186}\text{Re}$ , $^{90}\text{Y}$ , $^{177}\text{Lu}$ и др.	$^{223}\text{Ra}$	$^{125}\text{I}$ , $^{192}\text{Ir}$ , $^{103}\text{Pd}$ , $^{131}\text{Cs}$ и др.
3	Кардиология, лимфома, щитовидная железа, неврология и др.	Онкология, кардиология, неврология и др.	щитовидная железа, костные метастазы, лимфома, эндокринные опухоли и др.		

Источник: подготовлено авторами по материалам работы<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> European market. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/european-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1107.html> (дата проверки: 29.07.2016).

<sup>3</sup> В определение «рынок ядерной медицины» входят не только радиофармпрепараты, но и оборудование для их производства. Так, современные ПЭТ-центры комплектуются циклотроном для производства изотопов и дорогостоящими регистрирующими детекторами. В настоящей работе мы рассматриваем только рынки радиофармпрепаратов.

## ■ Исследовательские статьи

Высокий спрос со стороны развивающихся стран на радиоизотопы и РФП, а также достижения различных областей научной и практической медицины (кардиология, гепатология, урология, нефрология, пульмонология, эндокринология, травматология, неврология и нейрохирургия, педиатрия, аллергология, гематология, клиническая иммунология) создают огромные возможности для роста этого рынка в ближайшие годы.

К числу факторов, сдерживающих рост рынка ядерной медицины, следует отнести: короткий период полураспада изотопов, жёсткие нормативные требования к производству и применению (экология, радиационная безопасность и др.), а также конкуренция со стороны обычных диагностических методов.

Современную ситуацию на рынке изотопов можно проиллюстрировать на примере двух изотопов, широко используемых в медицине: стабильного изотопа углерода-13 ( $^{13}\text{C}$ ) и радиоактивного технеция-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ).

Наиболее перспективный способ использования изотопа  $^{13}\text{C}$  – это так называемый «диагностический контроль дыхания» (Diagnostic Breath Test - DBT) [3, с. 10]. Потенциальный рынок теста DBT достаточно широк: на 2000 г. в США он оценивался в 800 млн долл. и более 5 млн пациентов в год [3, с. 11].

Среди других стабильных изотопов для использования в медицине отметим: дейтерий ( $^2\text{H}$ ), углерод-13 ( $^{13}\text{C}$ ), азот-15 ( $^{15}\text{N}$ ), кислород-18 ( $^{18}\text{O}$ ).

Широкое применение технеция-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) в ядерной медицине обусловлено уникальной совокупностью его ядерно-физических и химических свойств, обеспечивающих достаточную и эффективную радиационную безопасность. Этот изотоп получают из отходов переработки ядерного топлива, либо из облучённой в циклотроне молибденовой мишени. По данным на 2000-е гг., рынок использования  $^{99}\text{Mo}$  оценивался примерно в 1 млн Ки в год при цене за 1 Ки порядка 200 долл. [4]. При этом ежегодный рост использования этого изотопа на мировом рынке оценивался в 10% [там же, с. 12]. К настоящему времени эти цифры существенно выше в связи с ростом объёмов его использования.

География мирового производства и потребления молибдена-99 в 2015 г. представлена в таблице 2. Данные из табл. 2 показывают, что в ЕС, Канаде и ЮАР имеется перепроизводство изотопа, а в Японии и США – значительный дефицит (60%). В 2015 г. США организовали собственное производство молибдена-99, поэтому в будущем ситуация на рынке изменится.

С использованием технеция-99m в мире ежегодно осуществляется примерно 80% диагностик, что составляет порядка 30 млн процедур. Только в США ежедневно выполняется от 32 800 до 41 000 процедур (см. табл. 3).

Как видно из таблицы 3, весь рынок разделён между Северной Америкой, ЕС и АТР. Поскольку статистические данные по Китаю, России и странам Центральной Азии не учтены,

Таблица 2.

Производство и потребление молибдена-99 в 2015 г.

Страна/регион	Производство	Потребление
ЕС	45%	22%
Канада	40%	4%
ЮАР	10%	-
Австралия	2%	1%
Россия	1%	1%
Япония	0%	14%
США	0%	46%
Другие	-	12%
Всего	100	100

Источник: по данным [15].

Таблица 3.

Ежегодное число процедур в 2015 г. с использованием технеция-99m.

Регион	Число ежегодных процедур, млн
Северная Америка	12-15
Европа	6-7
АТР	6-8
Другие регионы мира	0,5
Россия, Китай, страны Центральной Азии	данных нет

Источник: по данным [15].

в реальности потребление технеция-99m будет выше, и оценку в 30 млн процедур следует считать заниженной. К 2020 г. прогнозируется ежегодный рост мирового потребления на 1–2%.

В настоящей работе для изучения мирового рынка ядерной медицины мы использовали данные исследовательской компании Markets and Markets по европейскому и североамериканскому регионам, а также глобальному рынку<sup>4</sup> [11,12,13,14].

Все рынки РФП, как глобальные, так и региональные, подразделяются на *диагностический* и *терапевтический* сегменты.

Доля диагностического сегмента составляет порядка 80% от общей доли рынка РФП.

Максимальный объём продаж для проведения однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) приходится на изотоп технеций-99m (<sup>99m</sup>Tc); распространены также таллий-201 (<sup>201</sup>Tl), галлий-67 (<sup>67</sup>Ga) и йод-123 (<sup>123</sup>I).

Для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) большей частью используют радиоизотопы фтор-18 (<sup>18</sup>F) и рубидий-82 (<sup>82</sup>Rb).

*Терапевтический сегмент рынка РФП.* На рынке терапии наибольшую долю составляют бета-излучатели. Среди изотопов преобладают йод-131 (<sup>131</sup>I), далее следуют самарий-153 (<sup>153</sup>Sm), рений-186 (<sup>186</sup>Re), иттрий-90 (<sup>90</sup>Y) и лютеций-177 (<sup>177</sup>Lu). В качестве альфа-излучателя

эффективно используется радий-223 (<sup>223</sup>Ra). В брахитерапии применяются изотопы цезия-131 (<sup>131</sup>Cs), йода-125 (<sup>125</sup>I), палладия-103 (<sup>103</sup>Pd) и иридия-192 (<sup>192</sup>Ir).

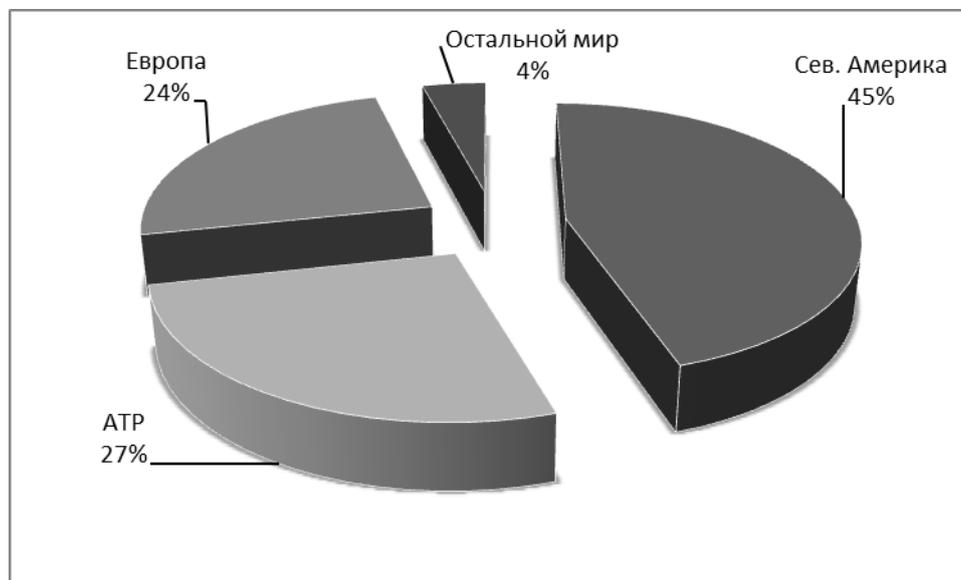
На рисунке 1 показан вклад различных регионов в **глобальный рынок** радиофармпрепаратов. Видно, что на рынке доминирует Северная Америка, далее следуют Азиатско-Тихоокеанский регион, Европа и остальная часть мира. Ожидается, что рынок АТР будет расти самыми быстрыми темпами в течение прогнозируемого периода.

Эксперты уверенно прогнозируют рост рынков радиофармпрепаратов на период до 2020 г., причём максимальные темпы роста ожидаются в странах АТР.

Ключевыми участниками всех трёх рынков выступает ряд компаний, фактически являющихся монополистами в сфере предложений радиофармпрепаратов и соответствующего оборудования. Среди них можно выделить следующие компании: Cardinal Health Inc. (США); GE Healthcare (Великобритания); Bracco Imaging S.p.A. (Италия); Eczacıbasi-Monrol (Турция); Nordion Inc. (Канада); Advanced Accelerator Applications SA (Франция); Bayer Healthcare AG (Германия); Lantheus Medical Imaging, Inc. (США); IBA Molecular Imaging (Belgium) и Mallinckrodt PLC (Ирландия).

Рисунок 1.

Состояние мирового рынка радиофармпрепаратов в 2015 г.



Источник: по материалам<sup>5</sup> [12].

<sup>4</sup> European market. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/european-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1107.html> (дата проверки: 29.07.2016).

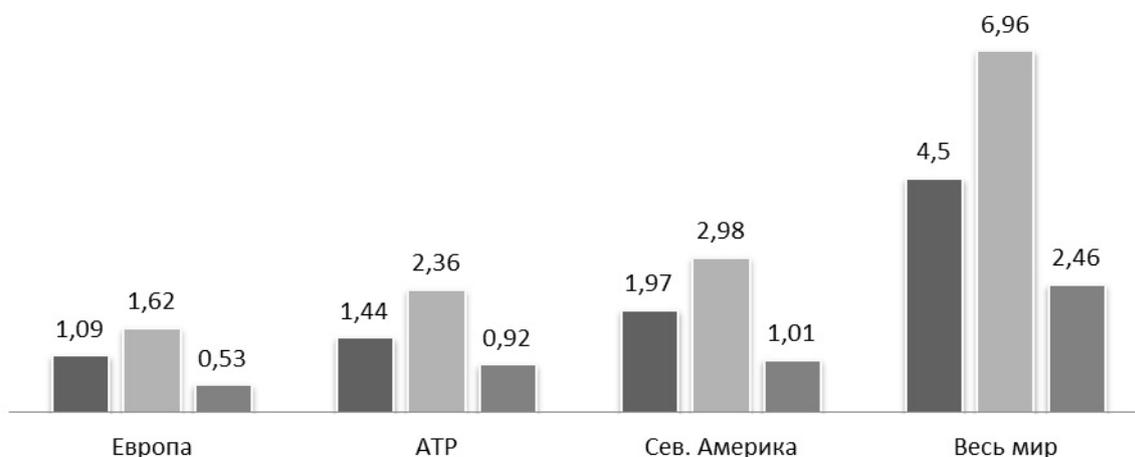
Global market URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/radiopharmaceuticals-market-417.html> (дата обращения: 29.07.2016) Market Research Company and Consulting Firm. URL: <http://www.marketsandmarkets.com/> (дата проверки: 29.07.2016) North-American market. [URL: [markets.com/Market-Reports/north-american-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1108.html](http://markets.com/Market-Reports/north-american-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1108.html) (дата обращения: 29.07.2016).

<sup>5</sup> Global market URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/radiopharmaceuticals-market-417.html> (дата проверки: 29.07.2016)

Рисунок 2.

Развитие региональных рынков радиофармпрепаратов.

■ 2015 г., \$ млрд ■ 2020 г., \$ млрд ■ Прирост за 2015-2020



Источник: по данным [11, 12, 13, 14].

Состояние региональных рынков радиофармпрепаратов

Благодаря успехам европейской медицины в применении радиофармпрепаратов **европейский рынок** РФП заметно диверсифицировался и расширился.

В 2015 г. в диагностическом сегменте рынка максимум продаж пришёлся на изотопы технеций-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) и фтор-18 ( $^{18}\text{F}$ ), а на терапевтическом рынке лидировали радий-223 ( $^{223}\text{Ra}$ ), йод-131 ( $^{131}\text{I}$ ) и иттрий-90 ( $^{90}\text{Y}$ ).

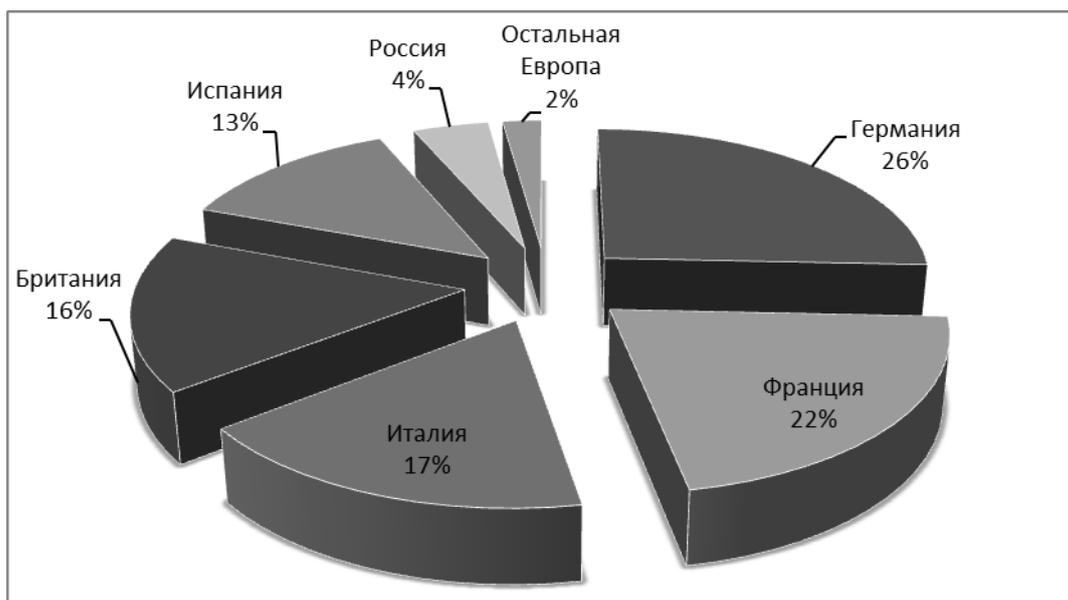
По странам максимальная доля продаж приходилась на Германию, за которой следовали Франция, Италия, Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии,

Испания и Россия (см. рис. 3). Ожидается, что в ближайшие годы наибольший рост продаж будет происходить в Швейцарии, Польше, Дании, Швеции и Нидерландах. Следует отметить незначительный, в сравнении с потенциальными возможностями, вклад России.

Следует отметить, что хотя европейский рынок контролируют несколько крупных компаний, которые фактически монополизировали его, тем не менее, в последние годы малые и средние компании с похожими предложениями продуктов пытаются найти свою нишу на рынке, что ведет к усилению конкуренции на нем. При этом эти компании используют различные маркетинговые стратегии (реклама, це-

Рисунок 3.

Европейский рынок радиофармпрепаратов в 2015 г.



Источник: по данным [11].

новые скидки, стимулирующие акции, дополнительные услуги по пред- и послепродажному обслуживанию и т. д.).

Данные европейского рынка РФП на 2015 г. и перспективы развития до 2020 г. показаны на рис. 2.

**Североамериканский рынок** ядерной медицины представлен США и Канадой. Его быстрый рост обусловлен достижениями ядерной медицины при лечении различных сложных видов заболеваний и повышением уровня осведомлённости об эффективности радиофармпрепаратов с применением радиоактивных изотопов.

Наибольшая доля рынка приходится на США: на 2015 г. доля США на рынке составляла примерно 90%. Доминирование США значительно укрепилось в связи с началом 2015 г. производства Мо-99 и утверждением FDA<sup>6</sup> новых радиофармпрепаратов, применение которых рассматривается в качестве альтернативы традиционному лечению онкологии.

Следует отметить, что на рынке имеется достаточное количество компаний частной собственности, и их доходы не доступны в открытом доступе, следовательно, они не включены в данные работы<sup>7</sup> [14], которые исследовались авторами.

Данные о состоянии Северо-Американского рынка РФП, а также мирового рынка на 2015 год и перспективы их развития до 2020 г. представлены на рис. 2.

В заключение следует отметить, что дальнейшее развитие ядерной медицины зависит от разработки эффективных методов производства новых радионуклидов. К настоящему времени в данном направлении достигнуты зна-

чительные успехи. Так, недавно были введены в эксплуатацию высокоэнергетические и сверхточные циклотроны. Это позволило сделать более доступными ряд новых радионуклидов (галлий-68, медь-64, цирконий-89 и цинк-63), а также использовать ускорители для коммерческого производства востребованного на рынке технеция-99m. Наличие новых радиоизотопов может радикально изменить положение в области ядерной медицины, расширив круг клинических проблем, решаемых с её помощью<sup>8</sup> [3].

#### Мировые рынки немедицинских изотопов

Мировые объёмы экспорта и импорта некоторых радиоактивных и стабильных нуклидов по товарным группам показаны в таблице 4, а крупнейшие экспортёры и импортёры – в таблице 5.

Как можно видеть из таблицы 4, импорт природного, обогащённого и обеднённого урана в 1,5–2,9 раза превышает экспорт. Возможными причинами такого несоответствия могут быть: а) экспорт товаров осуществляли компании, не находящиеся в открытом доступе как экспортёры; б) экспортируемый товар отправлялся, например, на обогащение или иную конверсионную операцию, и импортировался уже как другая товарная группа.

Из приведенных в табл. 4,5 данных видно, что наибольшие и почти одинаковые объёмы продаж приходятся на природный и обогащённый уран. Основными экспортёрами этих товаров являются Казахстан и Нидерланды.

Объёмы продаж обеднённого урана незначительны в сравнении с обогащённым (менее 5%). Лидером среди экспортёров и импортёров является Франция.

Таблица 4.

#### Экспорт и импорт товарных групп нуклидов в 2014 г.

Товарная группа	Экспорт, млрд долл.	Импорт, млрд долл.	Всего, млрд долл.
Уран природный и его соединения	4,03	6,37	10,4
Уран, обогащённый ураном-235, и его соединения; плутоний и его соединения	3,19	6,64	9,83
Уран, обеднённый ураном-235, и его соединения; торий и его соединения	0,067	0,023	0,09
Элементы радиоактивные, изотопы и соединения	1,32	1,68	3,00
Стабильные изотопы дейтерий, литий-6, литий-7, углерод-13, бор-10, бор-11, азот-15, кислород-18 и их соединения	0,222	0,211	0,434

Источник: по данным<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Food and Drug Administration – агентство Министерства здравоохранения и социальных служб США. В числе прочего, осуществляет контроль над качеством лекарственных препаратов, а также над соблюдением законодательства и стандартов в этой области.

<sup>7</sup> North-American market. URL: [markets.com/Market-Reports/north-american-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1108.html](http://markets.com/Market-Reports/north-american-nuclear-medicine-radiopharmaceuticals-market-1108.html) (дата проверки: 29.07.2016).

<sup>8</sup> Доклад ген. директора МАГАТЭ. Обзор ядерных технологий. 2015. 62 с. URL: [https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC59/GC59InfDocuments/Russian/gc59inf-2\\_rus.pdf](https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC59/GC59InfDocuments/Russian/gc59inf-2_rus.pdf) (дата проверки: 20.07.2016).

<sup>9</sup> Мировой импорт. URL: <http://data.trendeconomy.ru/commodities/Import/2844?period=2014> (дата обращения: 25.07.2016). Мировой экспорт. [URL: <http://data.trendeconomy.ru/commodities/Export/2844?period=2014> (дата проверки: 25.07.2016).

**Крупнейшие экспортёры и импортёры изотопной продукции.**

Экспорт, млн долл. (% мирового экспорта)	Импорт, млн долл. (% мирового импорта)
<b>Уран природный</b>	
Казахстан: 1 836,2 (46%)	Китай: 2 362,7 (37%)
Канада: 1 086,4 (27%)	Франция: 1 483,4 (23%)
США: 408,8 (10,1%)	Россия: 769,7 (12,1%)
Украина: 259,5 (6,4%)	Нидерланды: 527,8 (8,3%)
Россия: 149,67 (3,7%)	Канада: 383,7 (6,0%)
<b>Уран обогащённый</b>	
Нидерланды: 861,0(27%)	США: 2 348,0 (35%)
Франция: 826,4 (26%)	Франция: 916,4 (13,8%)
Германия: 717,6 (23%)	Швеция: 790,2 (11,9%)
США: 386,0 (12,1%)	Ю. Корея: 688,4 (10,4%)
Китай: 264,0 (8,3%)	Германия: 444,1 (6,7%)
<b>Уран обеднённый</b>	
Франция: 25,3 (38%)	Франция: 4,1 (48%)
Германия 24,1 (36%)	Германия: 2,0 (8,7%)
США: 11,5 (17,1%)	Испания: 1,8 (7,8%)
Чехия: 1, 65 (2,46%)	Великобритания: 1,1 (4,7%)
Нидерланды: 1,1 (1,7%)	США: 1,1 (4,7%)
<b>Элементы радиоактивные, изотопы</b>	
Канада: 370,7 (28%)	США: 503,1 (30%)
США: 201,9 (15,2%)	Япония: 242,9 (14,5%)
Нидерланды: 153,0 (11,6%)	Германия: 78,9 (4,7%)
Бельгия: 94,297 (7,12%)	Китай: 70,7 (4,2%)
Германия: 88,5 (6,7%)	Великобритания: 66,9 (4,0%)
Россия: 74,3 (5,6%)	Франция: 66,1(3,9%)
<b>Стабильные изотопы</b>	
США: 100,1 (45%)	США: 48,6 (23%)
Германия: 27,0 (12,1%)	Германия: 30,7 (14,5%)
Россия: 21,2 (9,54%)	Япония: 20,2 (9,5%)
Израиль: 20,8 (9,35%)	Китай: 19,3 (9,1%)
Франция: 13,0 (5,8%)	Южная Корея: 13,3 (6,3%)
Канада: 10,6 (4,8%)	Канада: 12,2 (5,8%)

Источник: по данным<sup>10</sup>.

Объёмы продаж радиоактивных изотопов более чем в семь раз превосходят объёмы стабильных изотопов, но почти в шесть раз ниже объёмов продаж всех урановых изотопов и их соединений. Канада, США и Нидерланды занимают лидирующие позиции по экспорту радиоактивных изотопов, а США, Япония и Германия – по их импорту.

В экспорте стабильных изотопов США, Германия и Россия опережают другие страны. Их совместный оборот составляет около 70%. По импорту США, Германия и Франция обеспечивают почти 50% рынка.

Полный объём рынка этой изотопной продукции составляет \$23,75 млрд, из которых \$20,32 млрд (почти 86%) приходится на уран и его изотопы. Самые крупные покупатели – это Китай (природный уран, \$2,36млрд, 37% мирового рынка) и США (обогащённый уран, \$2,35 млрд, 35% рынка). Наибольшие объёмы продаж природного урана у Казахстана (\$1,84 млрд, 46% рынка), Канады (\$1,09 млрд, 27% рынка), а также обогащённого урана у Нидерландов (\$0,86 млрд, 27%), Франции (\$0,83 млрд, 26%) и Германии (\$0,72 млрд, 27% рынка).

<sup>10</sup> Мировой импорт. URL: <http://data.trendeconomy.ru/commodities/Import/2844?period=2014> (дата обращения: 25.07.2016). Мировой экспорт. URL: <http://data.trendeconomy.ru/commodities/Export/2844?period=2014>. (дата проверки: 25.07.2016).

Россия с объёмом продаж 150 млн долл. (5,6% мирового рынка) природного урана занимает скромное 5-е место. Так как стратегия страны направлена на дальнейшее полномасштабное развитие атомной энергетики, представляется нецелесообразным экспортировать изотопы урана, плутония, тория, но экспорт различных видов радиоактивных изотопов следует увеличить, используя имеющийся потенциал России.

#### Изотопная экономика

Термин «изотопная экономика» был введён в научный оборот в середине 2000-х гг. [1, 16]. Это направление включает в экономику новые виды изотопов, дополняющие периодическую таблицу элементов Менделеева. Сейчас науке известно более трех тысяч изотопов, и этот список продолжает расти за счёт открытия новых сверхтяжёлых элементов, а также «экзотических» изотопов существующих элементов.

В изотопной экономике в массовых масштабах осуществляется трансмутация элементов: производство изотопов путём ядерных превращений для нужд промышленности. Пока трансмутация происходит только в ядерных реакторах, когда при делении ядер образуются различные изотопы почти всех элементов периодической таблицы, многие из которых очень трудно получить иным путём.

Экономическое значение изотопов, произведённых с помощью ядерных реакторов, не уступает или даже превосходит ценность созданной электроэнергии. Так, отработанное ядерное топливо (ОЯТ) представляет собой источник нового ядерного топлива типа плутония-239, а также ценных и редких металлов. Относительные концентрации редких металлов в облучённом топливе реакторов во многих случаях в десятки тысяч раз превышают их среднее содержание в земной коре. Доказано, что извлечение из ОЯТ таких металлов, как палладий, родий и рутений, экономически оправдано для производства высокопрочных спецматериалов [16].

Сейчас только развитые страны имеют широкий спектр радиационных и радиоизотопных технологий. Многие виды этих технологий очень дороги и малодоступны. Но даже в этих условиях доходы отраслей промышленности, связанных с этими технологиями, в таких странах как США и Япония превышают доходы от производства электроэнергии на АЭС [1, с. 133-134]. Поэтому если создать эффективные методы переработки ОЯТ и научиться выделять нужные изотопы требуемого качества, то можно ожидать, что стоимость радиационных и радиоизотопных технологий снизится, и они станут доступны значительно большему, чем сейчас, числу людей, в том числе в развивающихся странах [там же].

Изотопная экономика объединяет ядерную энергию с новым направлением наноматериалов

и нанотехнологий, позволяющим «увидеть» перемещения атомов и молекул и воздействовать на них нейтронами или электромагнитным излучением заряженных частиц, получаемых от ускорителей или реакторов [там же, с. 135]. Нанотехнологии обещают принципиальные достижения в создании материалов и выводят ядерную энергетику на новый технологический уровень. Это могут быть ядерное топливо с повышенным энерговыделением и ресурсом, новые радиационно-стойкие конструкционные материалы, нанокompозиты для защиты от излучения и многое другое. Существует также многообещающая перспектива создания «изотопно-сконструированных» материалов для управления свойствами вещества. Материалы, содержащие единственный изотоп, имеют свойства, существенно отличающиеся от свойства смеси изотопов. Например, «изотопно чистые» алмазы намного более прочнее природных.

Таким образом, ядерные реакторы и ускорители становятся генераторами новых нужных человеку атомов изотопов, а полученные в результате работы радиоактивные «отходы» могут быть ценными продуктами, оставляемыми грядущим поколениям взамен отбираемого у них органического топлива [там же, с. 136].

#### Развитие производства изотопной продукции в России и его перспективы

Развитие изотопных технологий в СССР началось после окончания Второй мировой войны. В период гонки вооружений оно было связано, главным образом, с масштабным производством урана-235 и разделением изотопов тяжёлых масс для создания ядерного оружия.

Производство изотопной продукции в СССР начиналось в 50-х гг. XX в. на предприятиях Министерства среднего машиностроения СССР. В СССР была создана уникальная технологическая база и организовано производство широкой номенклатуры изотопной продукции в нескольких десятках предприятий [8, с. 13]. При этом некоторые виды изотопов, например, стабильные изотопы олова Sn-112 и Sn-114, производились только в СССР, по крайней мере, до середины 90-х гг. И до настоящего времени ни одна страна в мире не может осуществить производство такого ассортимента изотопов, как Россия.

До начала 1990-х гг. СССР занимал лидирующую позицию в мире по использованию ядерных технологий в медицине. В стране работало 650 лабораторий радиоизотопной диагностики, 20 отделений радиоизотопной терапии на 2 тыс. активных коек [9, с. 12]. Более 80 % изотопной продукции, производимой советскими предприятиями, потреблялось внутри страны [10, с. 50]. При этом вся изотопная продукция закупалась за счёт средств Министерства здравоохранения СССР и распределялась по 600 медицинским учреждениям страны.

## ■ Исследовательские статьи

Диагностическое оборудование в СССР не производилось, оно централизованно приобреталось за рубежом. ОФЭК–томографы производили только два предприятия, а технологии создания ПЭТ вообще не существовало.

Объём экспорта изотопной продукции был невелик, из страны вывозились в основном сырьевые изотопы, половина из которых были стабильными, а вторая – радиоактивными. Доходы от экспорта изотопов в конце 1980-х гг. составляли около 10 млн долл. в год [5, с. 4].

После распада СССР мощная научно-техническая и производственная база распалась по бывшим союзным республикам. На территории России осталось около 90% мощностей по производству изотопной продукции, а большая часть предприятий по изготовлению оборудования оказались на территориях других стран, в основном в бывших прибалтийских республиках. Потребители (больницы) и их пациенты лишились государственного финансирования. Так, к 1996 г. число медучреждений, централизованно обеспечиваемых изотопной продукцией на средства Минздрава, сократилось с 600 (в СССР) до 293 (в России). К концу 2014 г. финансировалось всего 38 учреждений Минздрава России и 11 медучреждений РАМН России. Для проведения радиоизотопной диагностики и терапии используется устаревшее оборудование, 80% которого было закуплено ещё до 1980-х гг. [10, с. 51].

Рынок потребления изотопов в стране развит очень слабо. Если в США потребление молибдена-99 составляет 5–6 тыс. Ки в неделю, то в России – менее 100 Ки/неделю, то есть отставание от США более чем в 50 раз, а от партнёра по БРИКС, развивающейся Бразилии, – в шесть раз.

В течение последние 30 лет клиники в крупных регионах (таких, как Москва, Санкт-Петербург и Татарстан) осуществляют централизованные закупки за счёт региональных бюджетов, а остальные медучреждения приобретают изотопную продукцию, исходя из собственных финансовых возможностей.

В 1990-е гг. уменьшилось число институтов, занятых исследованиями изотопов, но практически полностью сохранились предприятия по производству изотопной продукции.

Как следствие этих изменений, в стране значительно упал внутренний спрос, и российские производители изотопной продукции переориентировались на экспорт. Однако из-за отсутствия сертификации контроля качества лекарственных средств в международной системе GMP, продукция России квалифицировалась как полуфабрикат и покупалась по заниженным ценам.

В данной ситуации на некоторых российских предприятиях было организовано производство отдельных источников ионизирующего излучения в виде конечной продукции, и с ней удалось выйти на международный рынок, представляя не сырьевые, а высокотехнологичные

изделия. Это радиоактивные источники для облучательных установок на основе кобальта 60 (Россия занимает 15–20% мирового рынка), источники на основе америция 241 и цезия 137 (доля России на рынке достигает 50–60%) [10, с. 50].

При высоком мировом объёме продаж стабильных и радиоактивных изотопов, а также всех видов радиофармапрепаратов, составившем в 2015 г. 4,5 млрд долл., доля российского экспорта, как показано выше, не превышает 1%, хотя по отдельным видам изотопов наши поставщики занимают лидирующие позиции.

Предприятия Росатома имеют значительный потенциал для обеспечения медицинской отрасли всеми необходимыми для диагностики и терапии изделиями изотопной продукции. Тем не менее, будущее ядерной медицины зависит не от производителей изотопов, а от выбора стратегии развития данной отрасли здравоохранения и решений соответствующего уполномоченного ведомства по обеспечению внутреннего рынка.

В настоящее время в Минздраве России концепция развития ядерной медицины отсутствует. Например, в течение последних нескольких лет значительные финансовые средства были вложены в строительство ПЭТ-центров диагностики. Однако стоимость процедуры на ПЭТ составляет не менее 35 тыс. рублей, то есть она не является общедоступной для российского населения. В тоже время процедура ОФЭКТ с применением технеция-99m обходится в семь раз дешевле. В развитых странах, несмотря на развитие ПЭТ-диагностики, ОФЭКТ также активно используется.

Одним из способов решения проблемы финансирования может стать вариант, использованный ранее в США и выбранный сейчас департаментом здравоохранения Москвы, когда средства для покупки изотопной продукции включены отдельной строкой в обязательное медицинское страхование (ОМС). Свой бюджет клиники департамента здравоохранения Москвы могут истратить только на изотопные препараты. В США благодаря применению этого способа потребление изотопной продукции медицинского назначения составляет около 40% от мирового [10, с. 51].

Развитие российского рынка серьёзно тормозит процедура лицензирования деятельности по обращению с радиоактивными изотопами для медучреждений. Такая лицензия выдаётся сроком на три–пять лет, а экспертиза стоит не менее 100 тыс. рублей. Многие больницы, особенно в регионах, не имеют таких средств. В то же время в большинстве развитых стран для медучреждений, использующих радиофармапрепараты (кроме больниц, оборудованных облучательными установками с мощными источниками ионизирующего излучения), практикуется процедура не лицензирования, а простого уведомления национального органа,

регулирующего обращение с радиоактивной продукцией. Следует изучить и применить в России практический опыт этих стран и упростить процедуру лицензирования.

Вышеприведённые меры, по мнению многих экспертов и авторов, позволят в значительной степени повысить потребление изотопной продукции медицинского назначения внутри страны. Увеличение объёмов внутреннего рынка позволит использовать производственный потенциал незагруженных ввиду отсутствия спроса российских предприятий, а также развивать собственную базу медицинского оборудования и фармацевтических препаратов, взамен импортного оборудования, стоимость которого после последней деноминации валют значительно выросла. В дальнейшем это приведёт к созданию конкурентного отечественного медицинского оборудования, что позволит увеличить долю экспортных поставок РФП на международные рынки.

В заключение отметим, что ядерная медицина, в силу своей специфики и перспективности, достойна стать национальным проектом. Известно, как широко используется ядерная медицина в США, Европе, Юго-Восточной Азии. Поэтому это направление необходимо превратить из научно-исследовательского в промышленное, общедоступное в крупных городах и любом районном центре.

Стабильные и радиоактивные изотопы вносят значительный вклад в повышение эффективности многих отраслей экономики, включая медицину, производство продуктов, контроль целостности конструкций, исследования различного рода в промышленности. Потребности расширения масштабов использования радиоизотопов очень велики.

Наиболее перспективным направлением использования изотопов выступает ядерная медицина. Это уникальная сфера деятельности, в которой гармонично сочетаются знания физики, высоких технологий и медицины. В России научными и технологическими разработками в этой сфере занимаются институты и предприятия госкорпорации «Росатом» и Минздрава России.

Ядерная медицина интенсивно развивается во всём мире. Её стремительный рост связан с тем, что благодаря развитию медицины средняя продолжительность жизни людей, особенно в развитых странах, увеличивается; следовательно, возрастает количество людей преклонного возраста, которые сталкиваются с сердечнососу-

дистыми, неврологическими, онкологическими и другими заболеваниями, присущими этому возрасту. Этот фактор, в свою очередь, приводит к росту спроса на радиофармпрепараты, источники ионизирующего излучения и изотопную продукцию. По данным настоящей работы и некоторым данным МАГАТЭ, ежегодный спрос на подобные продукты и услуги в мире будет расти на 10–12%, по крайней мере, до 2020 г.

Мировая ядерная медицина достигла значительных успехов в производстве различных радиофармпрепаратов. Объём мирового рынка радиофармпрепаратов в 2015 г. составил 4,5 млрд долл. Ожидается, что к 2020 г. он достигнет около 7 млрд долл. Доля России на нём – около 1%.

Среди радиоактивных изотопов наибольшее применение находит молибден-99 (30 млн процедур ежегодно), а среди стабильных – углерод-13. На эти изотопы существует быстро растущий спрос, поэтому необходимо увеличить объём их производства и развивать новые технологии разделения изотопов, в частности, лазерные методы, что представляет актуальную научную и коммерческую задачу.

По использованию ядерных технологий в медицине СССР занимал лидирующие позиции в мире. В настоящее время по некоторым позициям (кобальт-60, цезий-137, америций-241) российские экспортёры занимают ведущее место в мире, но на рынке радиофармпрепаратов их вклад незначителен. По уровню ядерной медицины Россия отстаёт не только от развитых стран, но и от СССР.

Чтобы кардинально изменить сложившуюся в стране ситуацию, необходимо: а) разработать концепцию развития ядерной медицины в России и создать в Минздраве отдельную структуру по проблемам радиологии, которая занималась бы формированием централизованного заказа на оборудование и радиофармпродукцию, а также вопросами подготовки специалистов для ядерной медицины; б) на федеральном уровне решить вопрос включения оплаты радиоизотопной диагностики и терапии в обязательное медицинское страхование; в) упростить лицензирование медучреждений, использующих радиофармпрепараты для диагностики. В противном случае Россия не сможет догнать развитые страны по доступности процедур лучевой диагностики и терапии, несмотря на обширную научно-производственную базу и технологические возможности.

#### Список литературы

1. Велихов Е.П., Гагаринский А.Ю., Субботин С.А., Цибульский В.Ф. Эволюция энергетики в XXI веке. М.: ИздАт. 2008. 160 с.
2. Данилова Т. Преодолеть дефицит молибдена-99 // Атомный эксперт. 2015. №9. С. 42-47.
3. Изотопы: свойства, получение, применения. Под ред. чл.-корр. РАН В.Ю. Баранова. М.: ИздАТ. 2000. 704 с.

---

## ■ Исследовательские статьи

---

4. Корсунский В.Н., Кодина Г.Е., Брускин А.Б. Ядерная медицина. Современное состояние и перспективы развития // Атомная стратегия. 2007, август. С. 4-6. URL: [http://proatom.ru/files/as31\\_01\\_17.pdf](http://proatom.ru/files/as31_01_17.pdf) (дата проверки: 25.07.2016).
5. Петрова И. Изотопы: шанс для завоевания рынка // Атомный эксперт. 2011. № 2. С. 12-14.
6. Трипотень Е., Ганжу О. Ядерная медицина: игра вдолгую // Атомный эксперт. 2016. № 1. С. 12-17.
7. Южанин А., Охотина И. Как вылечить ядерную медицину // Атомный эксперт. 2015. № 1. С. 49-53.
8. Palestro C.J. Molybdenum-99. Production and Its Impact on the Medical Community. U.S.NRC, 2015. 14 p. URL: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/slides/2015/20150414/palestro-20150414.pdf> (дата проверки: 29.07.2016).
9. Tennenbaum J. The Isotope Economy. Executive Intelligence Review. 2006. October 6. Pp. 8-37. URL: [http://www.21stcenturysciencetech.com/2006\\_articles/Isotope\\_Economy.pdf](http://www.21stcenturysciencetech.com/2006_articles/Isotope_Economy.pdf) (дата проверки: 29.07.2016).

### Об авторах

**Жизнин Станислав Захарович** – д.э.н., профессор, президент Центра энергетической дипломатии и геополитики. E-mail: [s.zhiznin@rambler.ru](mailto:s.zhiznin@rambler.ru).

**Тимохов Владимир Михайлович** – к. ф-м. н., Исполнительный директор Центра энергетической дипломатии и геополитики. E-mail: [vl.timokhov@gmail.com](mailto:vl.timokhov@gmail.com).

## INTERNATIONAL ISOTOPES MARKETS

**S.Z. Zhiznin, V.M. Timokhov**

The Center of Energy Diplomacy and Geopolitics. 119019, Moscow, Gogolevsky bulvar, 17.

**Abstract:** *The paper studies world markets of stable and radioactive isotopes. Isotopes have found various applications in science, industry, agriculture and other sectors of the economy, but especially - in medicine. Nuclear medicine is developing intensively all over the world thanks to the success in the treatment of various diseases with the help of radioactive pharmaceuticals (radiopharmaceuticals).*

*The article uses empirical data from a forecast study of the global radiopharmaceuticals market made in 2015 by a research company «Markets and Markets» for the European, North American and global markets. The paper also analyzes the statistical data on the global export and import of natural uranium, enriched and depleted uranium, plutonium, thorium and some stable isotopes of non-medical purposes, presented by a company «Trend economy» in 2014.*

*Despite a unique industrial base for the production of isotopes created in the Soviet Union Russia occupies a modest position on the world market of nuclear medicine except for certain areas. More than 80% of isotopes, produced in USSR were consumed domestically, the export of the stable and radioactive isotopes was in equal proportions.*

*Now the country's domestic radiopharmaceuticals market is poorly developed. To radically change the situation, it is necessary to carry out reforms that stimulate the development of nuclear medicine.*

**Key words:** isotopes, nuclear medicine, radiopharmaceuticals, chemicals, nuclear reactor, nuclear medicine markets.

### References

1. Velikhov E.P., Gagarinskii A.Iu., Subbotin S.A., Tsiubil'skii V.F. *Evolutsiia energetiki v XXI veke* [The evolution of energy in the XXI century]. Moscow, Izdat Publ., 2008. 160 p. (In Russian).
2. *Izotopy: svoistva, poluchenie, primeneniia* [Isotopes: Properties, Production, application]. Ed by V.Y. Baranova. Moscow: Izdat. 2000. 704 p. (In Russian).
3. Danilova T. Preodolet' defitsit molibdena-99 [To overcome shortage of molybdenum-99]. *Atomnyi ekspert*. 2015, no. 9. Pp. 42-47. (In Russian).
4. Korsunskii V.N., Kodina G.E., Bruskin A.B. *Iadernaia meditsina. Sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia* [Nuclear medicine. Current state and prospects of development]. *Atomnaia strategiiia*. August, 2007, pp. 4-6. URL: [http://proatom.ru/files/as31\\_01\\_17.pdf](http://proatom.ru/files/as31_01_17.pdf) (Accessed 25.07.2016). (In Russian).
5. Petrova I. *Izotopy: shans dlia zavoevaniia rynka* [Isotopes: a chance to gain market]. *Atomnyi ekspert*. 2011, no. 2. Pp. 12-14. (In Russian).
6. Tripoten' E., Ganzhu O. *Iadernaia meditsina: igra vdolguiu* [Nuclear medicine: longtime game]. *Atomnyi ekspert*. 2016, no.1. Pp. 12-17. (In Russian).

7. Iuzhanin A., Okhotina I. Kak vylechit' iadernuiu meditsinu [How to cure nuclear medicine]. *Atomnyi ekspert*. 2015, no.1. Pp. 49-53. (In Russian).
8. Palestro C.J. Molybdenum-99. Production and Its Impact on the Medical Community. *U.S.NRC*, 2015. 14 p. URL: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/slides/2015/20150414/palestro-20150414.pdf> (Accessed 29.07.2016).
9. Tennenbaum J. The Isotope Economy. *Executive Intelligence Review*. October 6, 2006. Pp. 8-37. URL: [http://www.21stcenturysciencetech.com/2006\\_articles/Isotope\\_Economy.pdf](http://www.21stcenturysciencetech.com/2006_articles/Isotope_Economy.pdf) (Accessed 29.07.2016).

**About the authors**

**Zhiznin Stanislav Z.** – The Center of Energy Diplomacy and Geopolitics. E-mail: s.zhiznin@rambler.ru.

**Timokhov Vladimir M.** – The Center of Energy Diplomacy and Geopolitics, 119019, Moscow, Gogolevsky b-ar, d. 17. E-mail: vl.timokhov@gmail.com.