

Пятьдесят четвертая очередная сессия

Пункт 16 предварительной повестки дня
(GC(54)/1)

Обзор ядерных технологий – 2010

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат ежегодно представляет всеобъемлющий Обзор ядерных технологий. Ниже прилагается доклад нынешнего года, в котором освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2009 году.
- В *Обзоре ядерных технологий – 2010* рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, атомные и ядерные данные, применения ускорителей и исследовательских реакторов, ядерные методы в продовольствии и сельском хозяйстве, здоровье человека, окружающая среда, водные ресурсы и производство и обеспечение доступности радиоизотопов, а также радиационные технологии. Дополнительная документация, связанная с *Обзором ядерных технологий – 2010*, имеется на веб-сайте Агентства¹ на английском языке и касается событий в ядерной медицине, относящихся к лечению рака, ядерных методов в решении трансграничных проблем, связанных с болезнями животных, ядерных методов в мониторинге загрязнения морской среды, снятия с эксплуатации ядерных установок, людских ресурсов для развития ядерной энергетики, инфраструктуры для новых ядерно-энергетических программ и производства и предложения молибдена-99.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти в Ежегодном докладе за 2009 год МАГАТЭ (GC(54)/4), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2009 год (GC(54)/INF/4).
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета управляющих и другие замечания, полученные от государств-членов.

¹ <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>

Содержание

Основные итоги	1
A. Энергетические применения	3
A.1. Ядерная энергетика сегодня	3
A.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики	6
A.3. Топливный цикл	7
A.3.1. Ресурсы и производство урана	7
A.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива	9
A.3.3. Конечная стадия топливного цикла	10
A.4. Дополнительные факторы, влияющие на развитие ядерной энергетики	11
A.4.1. Экономика	11
A.4.2. Безопасность	13
A.4.3. Развитие людских ресурсов	15
B. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	17
B.1. Усовершенствованные ядерные системы	17
B.1.1. ИНПРО и МФП	17
B.1.2. Международная система сотрудничества в области ядерной энергии (МССЯЭ)	18
B.1.3. Другая деятельность по разработке усовершенствованных ядерных систем	18
B.2. Термоядерный синтез	19
C. Атомные и ядерные данные	19
D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов	20
D.1. Ускорители	20
D.2. Исследовательские реакторы	21
E. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях	22
E.1. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	22
E.2. Борьба с насекомыми-вредителями	24
E.3. Качество и безопасность пищевых продуктов	26
E.4. Улучшение сельскохозяйственных культур	27
E.5. Устойчивое рациональное использование земельных и водных ресурсов	28
E.5.1. Улучшение управления водными ресурсами в сельском хозяйстве с использованием изотопных методов	28
E.5.2. Секвестрация почвенного органического углерода и смягчение последствий изменения климата	29
F. Здоровье человека	30
F.1. Борьба с недостаточным питанием с помощью ядерных методов	30
F.2. Гибридные системы визуализации СПЕКТ/КТ и ПЭТ/КТ	31
F.3. Достижения в применении методов радиационной онкологии	33
F.4. Воздействие цифровой технологии на радиологическую рентгенографию	34
G. Окружающая среда	35
G.1. Ядерные методы для количественного определения стока подземных вод в море	35
G.2. Понимание процесса круговорота углерода: применение ядерных методов для оценки потоков осаждения частиц с поверхности на дно океана	36
H. Водные ресурсы	38
H.1. Анализ фактов до принятия мер	40
H.2. Использование стабильных изотопов для понимания наличия и качества подземных вод	40
I. Производство радиоизотопов и радиационная технология	42
I.1. Радиоизотопы и радиофармацевтические препараты	42
I.1.1. Радиоизотопная продукция и ее наличие	42
I.1.2. Надежность поставок молибдена-99	43
I.2. Применение радиационных технологий	44
I.2.1. Электронно-пучковая стерилизация асептических упаковочных материалов и контейнеров	44
I.2.2. Радиационный синтез наноструктур на углеродной основе	45

Обзор ядерных технологий – 2010

Доклад Генерального директора

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. В 2009 году началось сооружение 12 новых ядерных энергетических реакторов, а это наибольшее количество с 1985 года, и прогнозы будущего роста ядерной энергетики были вновь пересмотрены в сторону увеличения. Вместе с тем к энергосистеме были подключены только два новых реактора, и с учетом вывода в этом году из эксплуатации трех реакторов общая мировая мощность ядерной энергетики в течение второго года подряд несколько снижалась.
2. Расширение мощностей в настоящее время, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики будут по-прежнему происходить главным образом благодаря Азии. На Азию приходится начало осуществления 10 из 11 проектов по сооружению, и здесь же к энергосистеме были подключены оба новых реактора. Хотя глобальный финансовый кризис, который начался во второй половине 2008 года, в отрицательном плане на общих прогнозах ядерной энергетики не сказался, отмечалось, что в некоторых регионах мира он был фактором, способствующим краткосрочным задержкам или отсрочкам реализации ядерных проектов.
3. В некоторых европейских странах, где ранее были введены ограничения на будущее использование ядерной энергетики, просматривалась тенденция к пересмотру этой политики.
4. Сохранялся большой интерес к разработке новых ядерно-энергетических программ. Более 60 государств-членов сообщили Агентству о своем интересе к возможности внедрения ядерной энергетики, и в 2009 году Агентство провело свои первые миссии в рамках Комплексного рассмотрения ядерной инфраструктуры в Иордании, Индонезии и Вьетнаме.
5. Несколько возросли оценки установленных традиционных ресурсов урана (менее 130 долл./кг U), главным образом благодаря увеличению, о котором сообщали Австралия, Канада и Намибия. Цены спот на уран снизились, и ожидается, что окончательные данные за 2009 год будут свидетельствовать о соответствующем сокращении разведки и освоения урановых месторождений.
6. Совет управляющих уполномочил Генерального директора Агентства подписать соглашение с Российской Федерацией о создании международного запаса низкообогащенного урана (НОУ). В нем будет иметься 120 тонн НОУ, который может быть предоставлен стране, испытывающей некоммерческие перебои с поставками НОУ. Соглашение между Агентством и Российской Федерацией было подписано в марте 2010 года.
7. После почти 20-летнего процесса отбора Шведская компания по обращению с ядерным топливом и отходами (СКБ) в качестве площадки геологического хранилища для окончательного захоронения отработавшего топлива выбрала Эстхаммар. В США правительство приняло решение прекратить работы по созданию хранилища для постоянного захоронения отходов высокого уровня активности в районе горы Якка, продолжая процесс лицензирования. Оно планирует учредить комиссию для оценки альтернативных вариантов.

8. В области термоядерного синтеза были завершены подготовительные работы на площадке Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), и были достигнуты договоренности о закупках для установок на сумму приблизительно 1,5 млрд. евро, что составляет около одной трети общего объема предполагаемых закупок. В США завершено сооружение Национальной установки по термоядерному зажиганию.

9. Продовольственная безопасность, здоровье человека, включая предотвращение болезней и борьбу с ними, охрана окружающей среды, управление водными ресурсами, а также использование радиоизотопов и ионизирующих излучений – все это области, в которых во многих странах мира с выгодой для содействия социально-экономическому развитию используются ядерные и изотопные методы.

10. В области продовольствия и сельского хозяйства наряду с дополнительными методами применяются ядерные методы для преодоления проблемы растущего числа насекомых-вредителей, которые создают угрозу для производительности сельского хозяйства, а также для международной торговли. Анализ генетических ресурсов домашнего скота – это высоко приоритетная в международном масштабе задача, поскольку такой анализ обеспечивает ключевые варианты устойчивого развития животноводства. Важным подспорьем в этих усилиях могут быть ядерные методы. По мере роста озабоченности по поводу выброса углерода возрастает интерес к возможности удержания (связывания) углерода в почве. Для определения способности к связыванию конкретных земельных площадей полезны изотопные средства.

11. Одной из наиболее инновационных областей современной медицины по-прежнему является диагностическая визуализация. Такие ядерные методы, как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография (СПЕКТ) и компьютерная томография (КТ) все чаще объединяются в гибридные системы визуализации, например СПЕКТ/КТ и ПЭТ/КТ. Эти гибридные системы визуализации позволяют проводить комбинированные исследования анатомии и функций органов человека. Такая гибридная визуализация приобретает все большее значение в кардиологии и онкологии. Полученные в последнее время результаты применения устойчивых изотопных методов для оценки биодоступности железа и каротиноидов провитамина А в уязвимых группах населения помогут работникам директивных органов, медицинским работникам и другим заинтересованным сторонам в определении дальнейших шагов и вариантов реагирования.

12. В области управления природными ресурсами ядерные методы используются для оценки объемов пресной воды, которая поступает в прибрежные зоны через прибрежные водоносные горизонты. Это важно, поскольку такой подводный сток подземных вод в море (ПСПВМ) может быть существенным источником пресной воды, а также в некоторых случаях может быть источником загрязнителей прибрежных зон. Устойчивые изотопы все более широко используются для понимания пространственного распространения различных процессов, которые воздействуют на наличие и качество подземных вод как на местном, так и на региональном уровнях. Такая информация может послужить важной основой для оценки воздействия изменения климата и других факторов на ресурсы подземных вод.

13. Вследствие активного освещения в средствах массовой информации возникшей проблемы серьезной нехватки поставок медицинских изотопов, особенно произведенного ядерным делением молибдена-99, в 2009 году в центре мирового внимания оказался устойчиво растущий спрос на радиоизотопы для медицинских и промышленных применений, а также достижения в соответствующих технологиях. Продолжается разработка новых применений радиационной технологии, о чем свидетельствует использование в последний период новой электронно-пучковой методологии, которая предлагает альтернативный вариант стерилизации или санитарной обработки асептических упаковочных материалов и контейнеров без применения химикатов.

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

14. Что касается ядерной энергетики, то 2009 год был вторым годом подряд, когда начиналось большое количество проектов по сооружению новых реакторов и происходила корректировка прогнозов будущего роста ядерной энергетики в сторону увеличения. В то время как 2008 год отличался тем, что он был первым годом за период с 1955 года, когда к энергосистеме не было подключено ни одного нового реактора, в 2009 году имели место два новых подключения к энергосистеме: третий энергоблок АЭС "Томари" (866 МВт (эл.)) в Японии и пятый энергоблок АЭС "Раджастхан" (202 МВт (эл.)) в Индии.

15. По состоянию на 1 января 2010 года во всем мире в эксплуатации находились 437 ядерных энергетических реакторов суммарной мощностью 371 ГВт (эл.) (см. таблицу А-1). Это приблизительно на 1,5 ГВт (эл.) меньше, чем в конце 2008 года, и причиной отчасти является снятие с эксплуатации трех реакторов: энергоблоков 1 и 2 АЭС "Хамаока" в Японии и энергоблока 2 Игналинской АЭС в Литве, который был выведен из эксплуатации в конце года.

16. Было начато сооружение одиннадцати объектов: блоков 3 и 4 АЭС "Хуняньхэ", блоков 1 и 2 АЭС "Саньмэнь", блока 2 АЭС "Янцзян", блока 2 АЭС "Фуцин", блока 2 АЭС "Фанцзяшань", блока 1 АЭС "Хайян" и блока 1 АЭС "Тайшань" (все по 1000 МВт (эл.)) в Китае; четвертого энергоблока "Шин-Кори" (1340 МВт (эл.)) в Республике Корея; второго энергоблока Нововоронежской АЭС-2 (1085 МВт (эл.)) и третьего энергоблока Ростовской АЭС в Российской Федерации. Активные строительные работы возобновились на блоках 3 и 4 АЭС "Моховце" (оба по 405 МВт (эл.)) в Словакии. Для сравнения: в 2008 году началось сооружение десяти энергоблоков и в 2007 году – восьми блоков плюс возобновление активных строительных работ на одном реакторе.

17. Таким образом, в конце года в процессе сооружения находились в общей сложности 56 реакторов, т.е. наибольшее количество с 1992 года.

18. Расширение мощностей в настоящее время, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики будут по-прежнему происходить главным образом благодаря Азии. Из 12 реакторов, сооружение которых началось в 2009 году, десять находятся в Азии. Как показано в таблице А-1, из 56 строящихся реакторов 36 приходятся на Азию, и там же размещены 30 из 41 нового реактора, подключенного к энергосистеме в последнее время. Цель Китая – достичь в 2020 году мощности ядерной энергетики 40 ГВт (эл.) – для сравнения, сегодня этот показатель составляет 8,4 ГВт (эл.). Открывая в сентябре в Дели Международную конференцию по использованию атомной энергии в мирных целях, премьер-министр Индии Манмохан Сингх, сказал, что потенциально Индия может достичь к 2050 году установленной мощности 470 ГВт (эл.).

19. В Финляндии в правительство были поданы заявки с просьбой принять "решение в принципе" о сооружении двух новых ядерных реакторов. Вместе с тем сооружение третьего блока АЭС "Олкилуото" отстает от графика.

20. В 2009 году сохранялись обозначившиеся в последнее время тенденции, касающиеся повышения мощности и возобновления или продления лицензий многих действующих реакторов. Комиссия по ядерному регулированию США (КЯР) одобрила продление на 20 лет еще восьми лицензий (при этом суммарный лицензированный срок эксплуатации составляет 60 лет), в результате чего общее количество одобренных продленных лицензий достигло 59. Инспекторат ядерных установок Соединенного Королевства одобрил возобновленные

периодические рассмотрения вопросов безопасности в отношении двух реакторов, что обеспечивает еще десять лет эксплуатации. В Испании на четыре года была продлена лицензия АЭС "Гаронья", и в Канаде на дополнительный пятилетний срок были возобновлены лицензии на эксплуатацию АЭС "Брус" А и "Брус" В.

21. В некоторых европейских странах, где ранее были введены ограничения на будущее использование ядерной энергетики, просматривалась тенденция к пересмотру этой политики.

22. Хотя глобальный финансовый кризис, который начался во второй половине 2008 года, в отрицательном плане на общих прогнозах ядерной энергетики не сказался (см. раздел А.2), отмечалось, что он был фактором, способствующим краткосрочным задержкам или отсрочкам реализации ядерных проектов в некоторых регионах мира. В июне компания "Ваттенфол" объявила, что по причинам экономического спада и ситуации на рынке она откладывает на 12-18 месяцев принятие решений о сооружении новых АЭС в Соединенном Королевстве. В качестве причин выхода энергокомпаний ГДФ СУЭЦ и РВЕ из проекта "Белене" в Болгарии указывались трудности с финансированием. Российская Федерация объявила, что в течение следующих нескольких лет в силу финансового кризиса и более низких прогнозов потребления электроэнергии она замедлит запланированный рост с двух реакторов в год до одного. В Онтарио, Канада, в силу снижения спроса на электроэнергию была приостановлена деятельность по закупкам двух новых ядерных энергетических реакторов, которые предполагалось соорудить на площадке АЭС "Дарлингтон". В США компания "Экселон", ссылаясь на неопределенную ситуацию в отечественной экономике, отложила масштабные работы по подготовке строительства предлагаемой новой АЭС в Техасе. К концу 2009 года в США из 18 заявок на комбинированные лицензии, касающиеся 28 реакторов, по просьбе заявителей рассмотрение 5 было приостановлено. В Южной Африке компания "Эском" сроки сооружения своего следующего запланированного реактора продлила на два года, до 2018 года.

23. Однако как и случае прогнозов будущего роста (раздел А.2), сохраняется высокий интерес к началу новых ядерно-энергетических программ. Сообщения о своем интересе к возможному внедрению ядерной энергетики поступили в Агентство от более чем 60 государств-членов. В 2009 году количество проектов технического сотрудничества Агентства, относящихся к внедрению ядерной энергетики, утроилось. Была выпущена брошюра, посвященная новой услуге, оказываемой Агентством, *INIR Integrated Nuclear Infrastructure Review Missions: Guidance on Preparing and Conducting INIR Missions* ("ИНИР – Комплексное рассмотрение ядерной инфраструктуры: руководство по подготовке и направлению миссий ИНИР"), и первые миссии ИНИР были проведены в Иордании, Индонезии и Вьетнаме. Миссии ИНИР представляют собой координируемые МАГАТЭ независимые авторитетные рассмотрения, проводимые группами международных экспертов на основе документа "Оценка положения дел в области развития национальной ядерной инфраструктуры", опубликованного Агентством в конце 2008 года. Цель и сфера охвата каждого из этих рассмотрений намечаются с учетом потребностей запрашивающих государств-членов. Как и в случае самооценки, предназначение миссии ИНИР – помочь стране определить несоответствия нынешнего уровня развития их программ установленным рубежам и эффективно устранить эти несоответствия.

Таблица А-1. Действующие и сооружаемые ядерные энергетические реакторы в мире (по состоянию на 1 января 2010 года)^а

СТРАНА	Действующие реакторы		Сооружаемые реакторы		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2009 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2009 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	7,6	7,0	62	7
АРМЕНИЯ	1	375			2,3	45,0	35	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 902			45,0	51,7	233	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	14,2	35,9	147	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 884			12,2	2,9	37	3
ВЕНГРИЯ	4	1 889			14,3	43,0	98	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 480			127,7	26,1	751	5
ИНДИЯ	18	3 987	5	2 708	14,8	2,2	318	5
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ			1	915				
ИСПАНИЯ	8	7 450			50,6	17,5	269	6
КАНАДА	18	12 569			85,3	14,8	582	2
КИТАЙ	11	8 438	20	19 920	65,7	1,9	99	3
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	20	17 705	6	6 520	141,1	34,8	339	7
МЕКСИКА	2	1 300			10,1	4,8	35	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	487			4,0	3,7	65	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	2,6	2,7	47	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	10	8 007	152,8	17,8	994	7
РУМЫНИЯ	2	1 300			10,8	20,6	15	11
СЛОВАКИЯ	4	1 762	2	782	13,1	53,5	132	7
СЛОВЕНИЯ	1	666			5,5	37,8	28	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	19	10 137			62,9	17,9	1 457	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	100 747	1	1 165	796,9	20,2	3 499	11
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	78,0	48,6	368	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 696	1	1 600	22,6	32,9	123	4
ФРАНЦИЯ	59	63 260	1	1 600	391,8	75,2	1 700	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 678			25,7	33,8	110	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 238			26,3	39,5	173	10
ШВЕЦИЯ	10	9 036			50,0	37,4	372	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			11,6	4,8	50	3
ЯПОНИЯ	54	46 823	1	1 325	263,1	29,2	1 440	8
Всего ^{b, c}	437	370 705	56	51 940	2 558,3	14%	13 913	0

а. Данные из Информационной системы МАГАТЭ по энергетическим реакторам (<http://www.iaea.org/pris>)

б. Примечание: общее количество включает следующие данные по Литве и Тайваню, Китай:

Литва: на АЭС выработано 10,0 ТВт·час электроэнергии, что составляет 76,2% общего производства электроэнергии;

Тайвань, Китай: 6 энергоблоков, мощностью 4980 МВт (эл.), в эксплуатации; 2 энергоблока, мощностью 2600 МВт (эл.), в стадии сооружения; на АЭС выработано 39,9 ТВт·час электроэнергии, что составляет 20,7% общего производства электроэнергии.

с. Суммарный опыт эксплуатации включает также данные по остановленным станциям в Италии (81 год), Казахстане (25 лет, 10 месяцев), Литве (43 года, 6 месяцев) и на Тайване (170 лет, 1 месяц).

А.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики

24. Ежегодно Агентство обновляет свои низкий и высокий прогнозы глобального роста ядерной энергетики. В 2009 году, несмотря на финансовый кризис, начавшийся в конце 2008 года, в сторону повышения были пересмотрены как низкий, так и высокий прогнозы. Согласно обновленному низкому прогнозу глобальная мощность ядерной энергетики в 2030 году достигнет 511 ГВт (эл.) – для сравнения мощность в конце 2009 года составила 371 ГВт (эл.). Согласно обновленному высокому прогнозу этот показатель достигнет 807 ГВт (эл.). Эти пересмотренные прогнозы на 2030 год на 8% выше, чем прогнозы, сделанные в 2008 году.

25. Корректировка прогнозов в сторону повышения наиболее существенна в отношении Дальнего Востока – региона, в который входят Китай, Республика Корея и Япония. Небольшие корректировки прогнозов в сторону снижения были сделаны в отношении Северной Америки и Юго-Восточной Азии и Тихого океана.

26. Финансовый кризис, начавшийся в конце 2008 года, сказался на перспективах некоторых ядерно-энергетических проектов, но его воздействие в разных частях мира было неодинаковым. Региональная структура пересмотра прогнозов отчасти отражает неодинаковое воздействие финансового кризиса в различных регионах. Общий пересмотр в сторону повышения как низкого, так и высокого прогноза отражает суждение собранных Агентством экспертов, согласно которому среднесрочные и долгосрочные факторы, лежащие в основе повышения ожиданий в отношении ядерной энергетики, существенно не изменились. Показатели и безопасность атомных электростанций по-прежнему были высокими. Сохранилась озабоченность по поводу глобального потепления, надежности энергоснабжения, а также высоких и неустойчивых цен на органическое топливо. Согласно всем исследованиям неизменно прогнозируется устойчивый рост спроса на энергию в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

27. С тех пор, как были сделаны прогнозы 2008 года, изменилось то обстоятельство, что намерения правительств, энергопредприятий и поставщиков в отношении своих объявленных планов, а также инвестиций, которые они уже сделали в реализацию этих планов, согласно общему восприятию за этот период стали более твердыми. Это укрепляет уверенность. Другое изменение заключалось в том, что снятие соблюдавшихся ранее ядерными поставщиками ограничений на ядерную торговлю позволит Индии ускорить запланированное развитие ядерной энергетики.

28. Свои прогнозы в 2009 году пересмотрело не только Агентство. В 2009 году обновленные прогнозы были изданы также Администрацией по энергетической информации (АЭИ) США, Международным энергетическим агентством ОЭСР (МЭА) и Всемирной ядерной ассоциацией (ВЯА). Диапазон прогнозов АЭИ несколько сузился, диапазон ВЯА немного расширился и диапазон МЭА был совсем немного скорректирован в сторону повышения (возросли как низкие, так и высокие значения). На рисунке А-1 приведено сравнение диапазонов ядерных прогнозов 2009 года, опубликованных АЭИ, МЭА, МАГАТЭ и ВЯА.

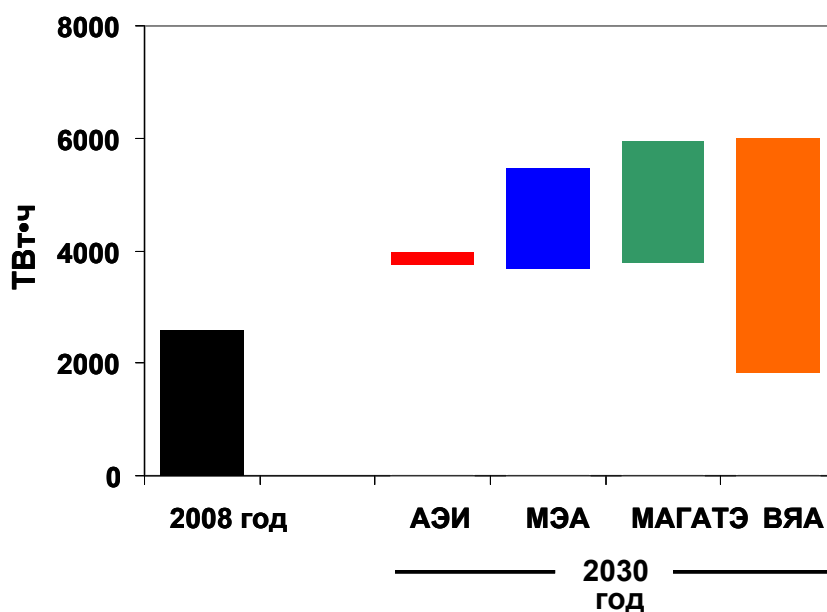


Рис. А-1. Сравнение прогнозов развития ядерной энергетики, опубликованных АЭИ, МЭА, МАГАТЭ и ВЯА.

А.3. Топливный цикл²

А.3.1. Ресурсы и производство урана³

29. Установленные традиционные ресурсы урана, которые могут быть извлечены с затратами менее 130 долл./кг U, в настоящее время, согласно оценкам, составляют 5,7 млн. тонн урана (Мт U). По сравнению с 2007 годом это на 0,2 Мт U больше, главным образом благодаря увеличению, о которых сообщили Австралия, Канада и Намибия. Кроме того, установлены традиционные ресурсы в объеме 0,7 Мт U, которые могут быть извлечены с затратами от 130 долл./кг U до 260 долл./кг U. Следует указать, что в 2009 году цена спот на уран колебалась в пределах 110 долл./кг U и 135 долл./кг U, при этом наблюдалась тенденция к постепенному, весьма медленному снижению.

30. Неоткрытые традиционные ресурсы по оценкам составляют 6,3 Мт U – затраты на их извлечение составят менее 130 долл./кг U, а также еще 0,2 Мт U с затратами от 130 долл./кг U до 260 долл./кг U. Сюда входят как ресурсы, которые, как ожидается, будут обнаружены или в известных месторождениях, или около них, так и более проблематичные запасы, которые, как полагают, существуют на геологически благоприятных, хотя и не разведанных территориях. Имеются также оценки, свидетельствующие о существовании еще 3,6 Мт U предположительных ресурсов, в отношении которых издержки производства не определены.

² Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении топливного цикла содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) и на веб-сайте <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>.

³ Данный раздел базируется на предстоящем издании "красной книги" (OECD/NEA-IAEA, *Uranium 2009: Resources, Production and Demand*, OECD, Paris (2010)).

31. Ресурсную базу еще более расширяют нетрадиционные ресурсы урана и тория. Нетрадиционные ресурсы включают уран в морской воде и такие ресурсы, из которых уран может извлекаться только в качестве незначительного побочного продукта. В настоящее время о наличии нетрадиционных ресурсов сообщают лишь немногие страны. Согласно прошлым оценкам запасы потенциально извлекаемого урана, связанного с фосфатами, рудами цветных металлов, карбонатитом, черным сланцем и лигнитом, составляют порядка 10 Мт U. В прошлом значительное производство на основе фосфорной кислоты осуществлялось в Бельгии, Казахстане и США, и при более высоких ценах на уран в последнее время в Австралии, Бразилии, Индии, Иордании, Марокко, США, Тунисе и Франции интерес к этой области возобновляется. В Китае изучается возможность извлечения урана из отвалов угольной золы, образующихся в результате работы ТЭЦ. Торий, который может также использоваться в качестве ресурса ядерного топлива, имеется в изобилии, широко распространен в природе и во многих странах является легко доступным для использования ресурсом. По оценкам, мировые ресурсы составляют приблизительно 6 Мт тория. Хотя на демонстрационной основе торий в качестве топлива используется, прежде чем его можно будет рассматривать наравне с ураном, необходимо провести значительную дальнейшую работу.

32. В морской воде содержится приблизительно 4500 Мт U, но в очень низкой концентрации – 3,3 части на миллиард. Поэтому для получения одного килограмма урана необходимо обработать 330 000 тонн воды. В настоящее время такое производство стоит слишком дорого. В 70-х и 80-х годах прошлого столетия исследования проводились в Германии, Италии, Соединенном Королевстве, США и Японии. Проводимые в настоящее время стендовые морские эксперименты в Японии указывают, что уран можно было бы извлекать с помощью адсорбентов оплеточного типа, закрепленных на морском дне, с производительностью 1200 т U ежегодно при сметных затратах приблизительно 300 долл./кг U. Лабораторные исследования проводятся также во Франции и Индии.

33. В силу снижения цен спот на уран по сравнению с 2008 годом предполагается, что когда будут получены окончательные данные за 2009 год, они будут свидетельствовать о сокращении разведки и разработки урановых месторождений. Такое развитие событий ожидается как в отношении стран, которые проводили разведку и разработку урановых месторождений в прошлом, так и в отношении стран, приступивших к разведке урана недавно.

34. В 2008 году производство урана во всем мире превысило 43 800 т U, что на 6% больше объема производства 2007 года – тогда он составил 41 300 т U. Предполагается, что в 2009 году производство возрастет до 49 000 т U. Как показано на рисунке А-2, в 2008 году на долю Канады, Казахстана и Австралии приходилось почти 60% мирового производства. На эти три страны, а также на Намибию, Нигер, Российскую Федерацию, Узбекистан и США приходилось 93% производства.

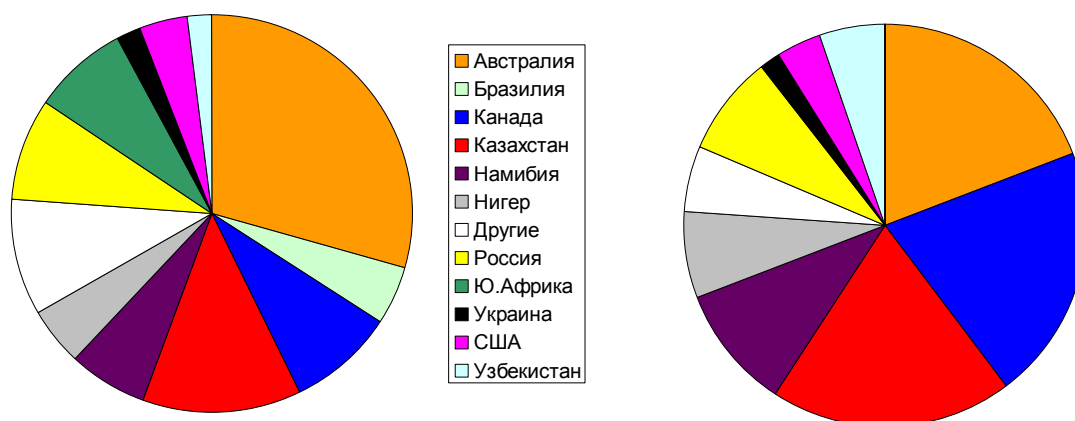


РИС. А-2. Географическое распределение установленных традиционных ресурсов урана, извлекаемых с затратами менее 130 долл./кг U (слева) и производства урана в 2008 году (справа).

35. Как ожидалось, прогнозируемого производства урана в 2009 году было достаточно для удовлетворения мировых потребностей реакторов, составлявших 65 400 т U, приблизительно только на 75%. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: запасов природного урана, запасов обогащенного урана, урана, переработанного из отработавшего топлива, смешанного оксидного (МОХ) топлива с ураном-235, частично замененного плутонием-239, полученным из переработанного отработавшего топлива, и повторного обогащения хвостов обедненного урана (обедненный уран содержит менее 0,7% урана-235). Исходя из оценочных норм потребления на 2009 год, прогнозируемый срок эксплуатации установленных традиционных ресурсов объемом 5,7 Мт U, извлекаемых с затратами менее 130 долл./кг U, составляет почти 90 лет. Эта цифра достаточно велика по сравнению с аналогичными показателями в отношении запасов другого сырья (например меди, цинка, нефти и природного газа), которых должно хватить на 30-50 лет.

А.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива

36. Суммарные мировые производственные мощности конверсии составляют по гексафториду урана (UF_6) около 76 000 тонн природного урана в год и по диоксиду урана (UO_2) – 4 500 т U в год. Нынешний спрос на конверсию UF_6 составляет приблизительно 62 000 т U в год. В 2009 году компания "АРЕВА" начала сооружение новых установок по конверсии "КОМЮРЕКС II", которые должны заменить старые установки в Мальвези и Пьерлатте, Франция. Проектная мощность "КОМЮРЕКС II" по тетрафториду урана (UF_4) и конверсии UF_6 до 2012 года ежегодно составит по 15 000 т U. В 2008 году корпорация "Камеко" и "Казатомпром" объявили об учреждении совместного предприятия в целях создания в Казахстане установки по конверсии UF_6 мощностью 12 000 тонн.

37. В настоящее время общие глобальные мощности обогащения составляют приблизительно 60 млн. единиц работы разделения (ЕРР) в год, при этом общий спрос составляет приблизительно 45 млн. ЕРР в год. В процессе сооружения находятся три новые коммерческие установки по обогащению: вторая очередь завода по обогащению им. Жоржа Бесса во Франции и американский центрифужный завод (АЦЗ) и национальная установка по обогащению (НУО) в США. На всех этих установках используется центрифужное обогащение. Предполагается, что ввод в действие завода по обогащению им. Жоржа Бесса II и АЦЗ позволит снять с эксплуатации существующие газодиффузионные обогатительные заводы. В декабре 2009 года на заводе им. Жоржа Бесса II состоялся запуск первого центрифужного каскада. В сентябре

2009 года первая центрифуга была установлена на НУО. Что касается АЦЗ, то здесь до сих пор имеются некоторые сомнения в отношении готовности технологии⁴. КЯР США начала официальное рассмотрение еще двух установок: предложенной компанией "АРЕВА" установки по обогащению в Игл-Роке, Айдахо, и предложенной компанией "Глобал лазер энричмент" установки по лазерному обогащению в Северной Каролине.

38. Приблизительно в 2011 году "Джапан ньюклар фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) рассчитывает начать коммерческую эксплуатацию усовершенствованных центрифужных каскадов на заводе в Роккасё-мура и к 2020 году увеличить мощности с нынешнего уровня 150 000 ЕРР до 1,5 млн. Современные мощности обогащения в Китае, где используются российские центрифуги, составляют 1,3 млн. ЕРР, и недавно Россия и Китай достигли договоренности об увеличении мощностей на 0,5 млн. ЕРР. Ограниченные мощности по обогащению для внутренних потребностей существуют в Аргентине, Бразилии, Индии и Пакистане. К числу членов Международного центра по обогащению урана (МЦОУ), каковыми уже являются Армения, Казахстан и Российская Федерация, присоединилась Украина. МЦОУ был создан в 2007 году в Ангарске, Российская Федерация.

39. В ноябре Совет управляющих уполномочил Генерального директора Агентства подписать соглашение с Российской Федерацией о создании международного запаса низкообогащенного урана (НОУ). В нем будет иметься 120 тонн НОУ, который может быть предоставлен стране, испытывающей перебои с поставками НОУ по некоммерческим причинам. В соответствии с критериями, установленными в соглашении с Российской Федерацией, исключительными полномочиями выделения НОУ из этого запаса обладает Генеральный директор. Российская Федерация обязана выдать все необходимые разрешения и лицензии для экспорта НОУ, и страна-получатель НОУ должна оплатить его по действующей во время поставки рыночной цене НОУ. Соглашение между Агентством и Российской Федерацией было подписано в марте 2010 года.

40. В настоящее время суммарные мировые производственные мощности по изготовлению топлива составляют около 13 000 тонн урана (т U) в год (обогащенного урана) по топливу легководных реакторов (LWR) и приблизительно 4 000 т U в год (природного урана) по топливу корпусных тяжеловодных реакторов (PHWR). Общий годовой спрос составляет приблизительно 10 400 т U. На данном этапе ведутся некоторые работы по расширению существующих установок, например в Китае, Республике Корея и США. Нынешние производственные мощности по изготовлению МОХ-топлива составляют около 250 тонн тяжелого металла (тТМ), и они расположены главным образом во Франции, Индии и Соединенном Королевстве и несколько установок меньшей мощности имеется в Японии и Российской Федерации. В США создаются дополнительные мощности по изготовлению МОХ-топлива (для использования избыточного оружейного плутония). В ноябре в Японии на третьем блоке АЭС "Генкай" началась эксплуатация с применением МОХ-топлива, и, таким образом, он стал первым японским реактором, на котором используется МОХ-топливо. В настоящее время во всем мире МОХ-топливо используется на 31 тепловом реакторе.

А.3.3. Конечная стадия топливного цикла

41. Общий объем отработавшего топлива, которое было выгружено во всем мире, составляет приблизительно 320 000 тонн тяжелого металла (тТМ). Из этого объема приблизительно 95 000 тТМ уже переработано, и около 225 000 тТМ помещены в бассейны хранения

⁴ Министерство энергетики США отложило рассмотрение запрошенной гарантии займа до решения вопросов, касающихся готовности технологии обогащения на АЦЗ.

отработавшего топлива при реакторах или находятся на вне реакторных (ВР) установках для хранения. ВР установки для хранения регулярно расширяются посредством добавления модулей к имеющимся сухим хранилищам и путем строительства новых установок. Общая глобальная мощность переработки составляет приблизительно 5000 тТМ в год. Завершение сооружения нового завода по переработке Роккасё, Япония, отложено до 2010 года.

42. После почти 20-летнего процесса отбора, в результате которого в 2002 году количество возможных площадок было сведено до двух, Шведская компания по обращению с ядерным топливом и отходами (СКБ) в качестве площадки геологического хранилища для окончательного захоронения отработавшего топлива выбрала Эстхаммар. Последующие исследования площадки позволили сделать вывод о том, что коренная подстилающая порода в Эстхаммаре более устойчива и имеет меньше воды, чем такая порода в Оскарсхамне – месте расположения другой возможной площадки. СКБ планирует запрос о выдаче лицензии на сооружение сделать в 2010 году и начать эксплуатацию в 2023 году.

43. Исследования площадок для хранилищ в Олкилуото, Финляндия, и в районе Бюре во Франции продолжались по графику, и эксплуатацию предполагается начать в 2020 и 2025 году соответственно.

44. В США правительство приняло решение прекратить работы по созданию хранилища для постоянного захоронения отходов высокого уровня активности в районе горы Якка, продолжая процесс лицензирования. Оно планирует учредить комиссию для оценки альтернативных вариантов.

45. В Соединенном Королевстве начат процесс добровольного выбора площадки. Интерес выразили два района в окрестностях Селлафилда.

46. В 2009 году с завершением снятия с эксплуатации ядерного энергетического реактора в Ранчо-Секо, Калифорния, США, количество полностью демонтированных энергетических реакторов во всем мире достигло 15. В процессе демонтажа находился 51 остановленный реактор, 48 – в режиме безопасной консервации, три – под укрытием, и еще для шести стратегия снятия с эксплуатации определена еще не была.

А.4. Дополнительные факторы, влияющие на развитие ядерной энергетики

А.4.1. Экономика

47. В *Обзоре ядерных технологий – 2009* указывалось, что верхний предел диапазона оценок затрат на сооружение новых АЭС по сравнению с уровнем 1200-2500 долл. на кВт(эл.), о котором сообщалось в *Обзоре ядерных технологий – 2006*, возрос. В прошлом году оценки затрат оставались высокими. На рисунке А-3 приводятся собранные недавно Агентством оценки единоразовых затрат с разбивкой по регионам⁵.

⁵ Данные на основе открытых исследований по затратам и расценкам, действующих в отрасли. Все приведенные в *Обзоре ядерных технологий – 2009* факторы, которые необходимо учитывать, по-прежнему действуют, и это следующие факторы: различия в оценках расходов могут быть отражением различных определений единоразовых затрат, оценка может относиться к новой площадке или же к площадке с существующими реакторами, возможность нахождения площадки в сейсмически активной зоне, различия в стоимости рабочей силы и материальных затратах, различные требования в плане использования местных ресурсов, различные доли компонентов станции, производимых или закупаемых на месте, различные субсидии и финансовые гарантии, различия в регулирующих требованиях и их предсказуемости, различия в договорных отношениях, различные обменные курсы и ожидаемые уровни инфляции, а также различные технологии.

48. Общая картина подтверждает наблюдение, согласно которому практический опыт уменьшает неопределенность уровня затрат. Хотя низкому уровню затрат в Азии есть несколько причин (например, более низкие, чем в других регионах, производственные издержки и довольно частое включение в оценочную стоимость только импортных компонентов), именно в этом регионе имеется практический опыт строительства новых реакторов в самое последнее время. В Северной Америке, где такой опыт отсутствует, оценки затрат и неопределенность наиболее высоки.

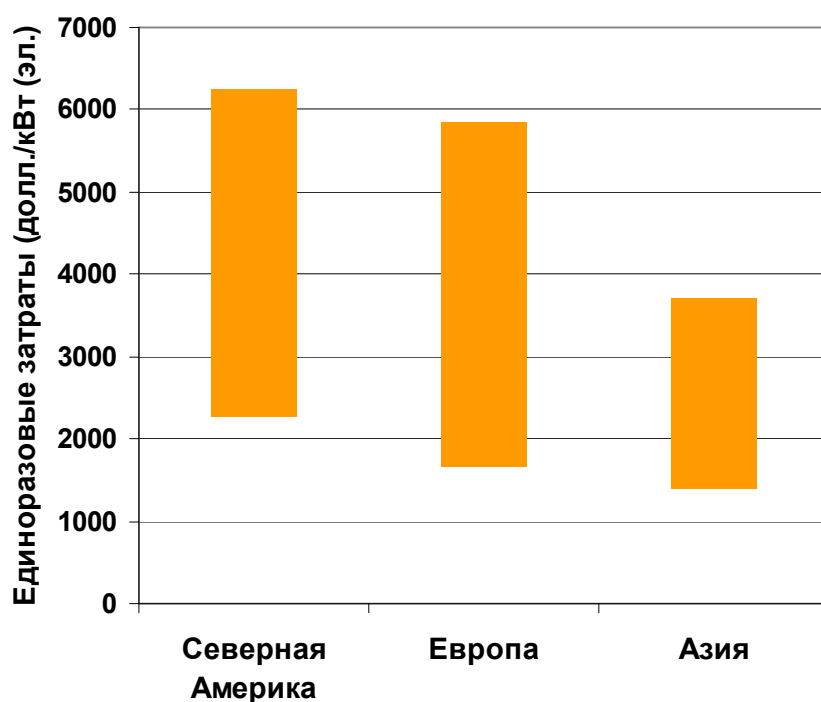


РИС. А-3. Оценки уровня единоразовых затрат с разбивкой по регионам, 2007-2009 годы (в долл. 2008 года)⁶.

49. По мере увеличения объема поступающих данных об оценках затрат на конкретные ядерно-энергетические проекты, подобных тем, которые приведены на рисунке А-3, публикуется меньше теоретических оценок затрат в сфере ядерной энергетики. Вместе с тем в 2009 году было опубликовано несколько таких исследований.

50. Массачусетский технологический институт (МТИ) обновил исследование затрат по США, проведенное им в 2003 году⁷; обновленная им оценка уровня единоразовых затрат в размере 4000 долл./кВт (эл.) весьма близка к среднему значению оценок по Северной Америке согласно рисунку А-3. В обновленном исследовании МТИ делается вывод о том, что в США затраты на привлечение капитала в ядерной энергетике будут выше, чем при сооружении электростанций, работающих на угле и природном газе, вследствие отсутствия недавнего практического опыта и

⁶ На диаграмме отражены 85 расчетов единоразовых затрат, 26 из которых относятся к Северной Америке, 32 - к Европе и 27 - к Азии.

⁷ Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study* (2003). Адрес в Интернете: <http://web.mit.edu/nuclearpower/>

связанной с этим неуверенностью инвесторов. Без такой "премии за риск" оценочные нормированные издержки на производство электроэнергии (НИПЭ) на АЭС будут сопоставимы с НИПЭ на электростанциях, работающих на угле и газе, даже без сборов или налогов на выбросы двуокси углерода и даже при единоразовых затратах в размере 4000 долл./кВт (эл.). В США в настоящее время в порядке компенсации премии за риск предусматривается предоставление гарантий по займам и отсрочка уплаты производственного налога в отношении ограниченного числа новых АЭС. Но в исследовании делается вывод, что для долгосрочного развития ядерной энергетики в США потребуются бессрочная отмена премии за риск, что может быть осуществлено только благодаря наглядному опыту успешной деятельности.

51. Во втором исследовании, проведенном компанией "Ситигруп инвестмент рисёрч", единоразовые затраты на сооружение стандартных новых ядерных реакторов в Соединенном Королевстве были оценены в 3700-5200 долл./кВт (эл.). Как видно из рисунка А-3, это находится в пределах диапазона оценок затрат на конкретные проекты в Европе. Данные, отраженные на рисунке А-3, включают также расчеты затрат, о которых сообщается в недавно изданном исследовании МЭА/ОЭСР и АЯЭ/ОЭСР "Прогноз затрат на производство электроэнергии – 2010". В этом исследовании делается вывод о том, что в силу различий в финансовых, технических и регулирующих условиях расчеты единоразовых затрат от страны к стране существенно варьируются. Самые низкие расчетные затраты наблюдаются в Азии, в частности, 1556 долл./кВт (эл.) в Республике Корея, где с 2000 года в строй были введены четыре новых реактора и шесть находятся в процессе сооружения.

А.4.2. Безопасность⁸

52. Показатели безопасности, подобные тем, которые опубликованы Всемирной ассоциацией организаций, эксплуатирующих АЭС (ВАО АЭС), и воспроизведены на рис. А-4 и А-5, в 90-х годах прошлого века значительно улучшились. В последние годы в некоторых областях ситуация стабилизировалась. Однако разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, так что существуют широкие возможности для дальнейшего улучшения ситуации.

53. Более подробная информация по безопасности приводится в подготовленном Агентством *Обзоре ядерной безопасности за 2009 год* (GC(54)/INF/2), где сообщается и о недавних событиях, имеющих отношение ко всем ядерным применениям.

⁸ Более подробная информация о деятельности Агентства в области ядерной безопасности содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) и на веб-сайте <http://www-ns.iaea.org/>.

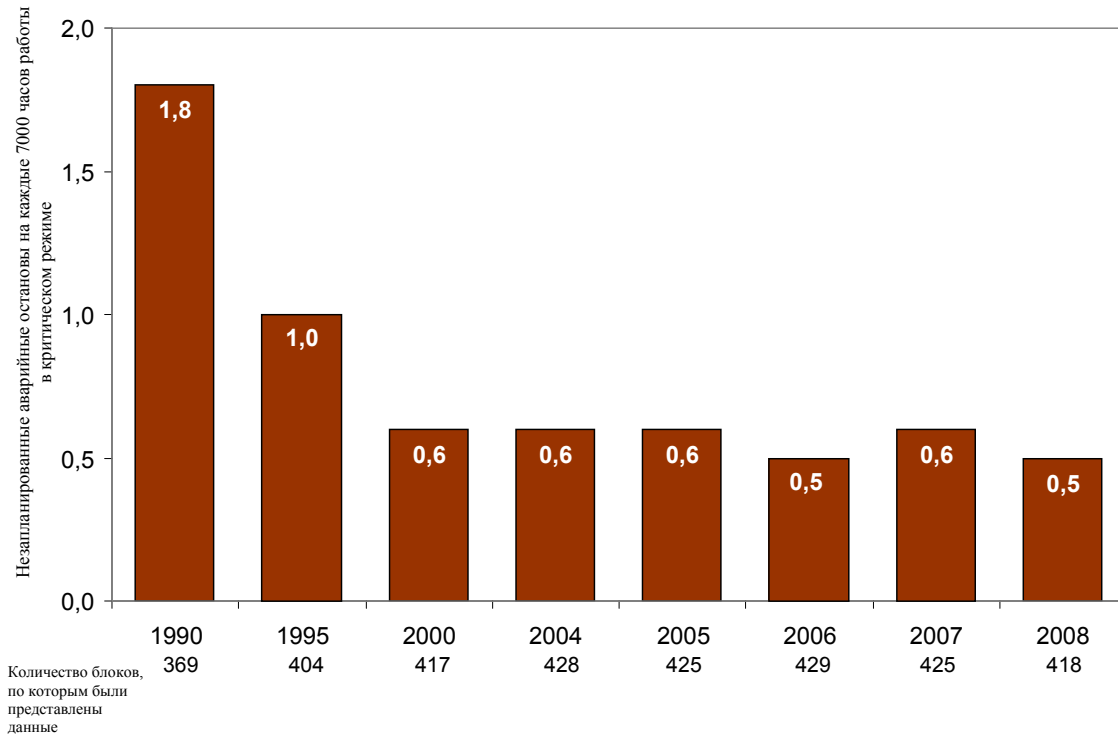


РИС. А-4. Число незапланированных аварийных остановов на каждые 7000 часов работы в критическом режиме (источник: ВАО АЭС. Оценочные показатели за 2008 год (WANO 2008 Performance Indicators)).

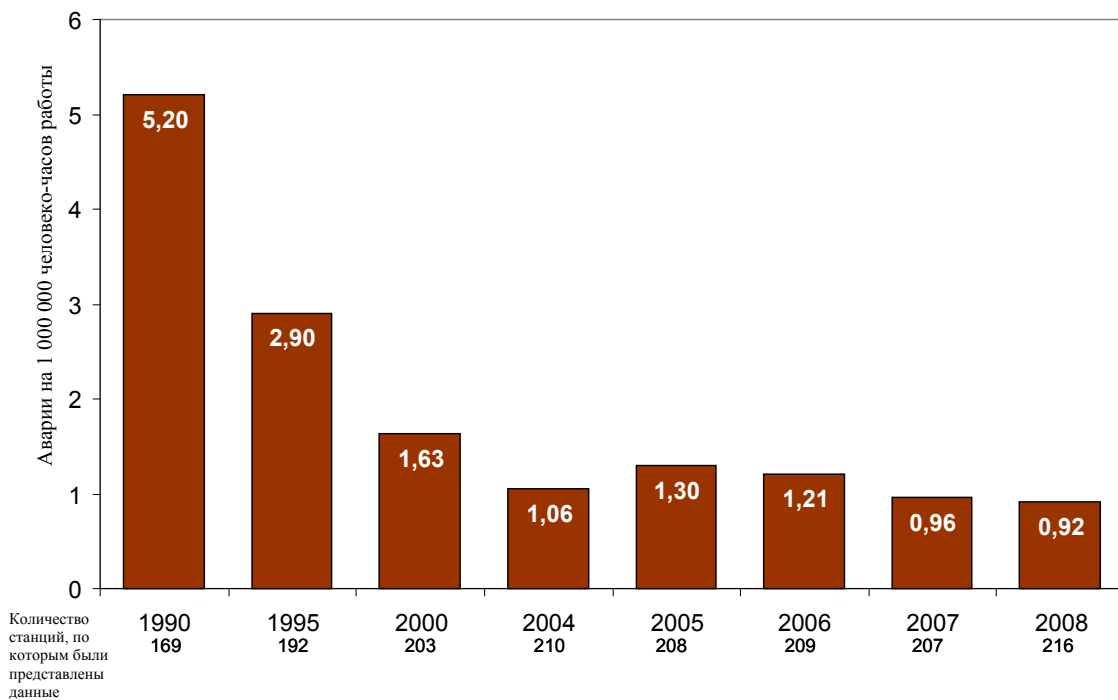


РИС. А-5. Число промышленных аварий на АЭС на 1 000 000 человеко-часов работы (источник: ВАО АЭС. Оценочные показатели за 2008 год (WANO 2008 Performance Indicators)).

А.4.3. Развитие людских ресурсов

54. Получение оценочных данных о потребностях в людских ресурсах (ЛР), которые связаны с прогнозами, рассмотренными в разделе А.2 – непростая задача, и имеется мало данных о числе специалистов по различным направлениям, которые требуются сегодня в ядерной отрасли, и о количестве соответствующих программ обучения и подготовки кадров. В условиях повышения интереса к ядерной энергетике выражается обеспокоенность по поводу возможной нехватки специалистов, имеющих квалификацию, которая требуется в ядерно-энергетической отрасли, хотя при этом признается, что в зависимости от множества факторов, и в первую очередь степени развития их ядерно-энергетических программ в разных странах, складывается неодинаковая ситуация.

55. Обеспокоенность по поводу возможного дефицита кадров привела к реализации правительствами и промышленностью инициатив по привлечению учащихся и расширению обучения и подготовки кадров в связанных с ядерной тематикой областях. В тех случаях, когда имеются данные, они свидетельствуют об успехе этих инициатив. Например, компанией "Электрисите де Франс" (ЭДФ) в 2008 году было принято на работу в четыре раза больше специалистов, чем в 2006 году, и она надеется сохранить более высокие масштабы набора кадров в течение еще нескольких лет частично при содействии внутреннего проекта переподготовки. В 2009 году компания "АРЕВА" приняла на работу 8000 инженеров, и она планирует в предстоящие годы нанять еще несколько тысяч. Обеим компаниям будет оказано содействие со стороны Французского комитета по координации подготовки кадров в области ядерной науки и техники (ФККПЯНТ), созданного по инициативе президента в 2008 году. В США численность студентов, изучающих ядерную технику, за последние пять лет возросла на 46%, чему способствовало выделение финансовых средств правительством и проведение двухгодичных обследований потребностей в ЛР, которые повысили осведомленность о вакансиях в ядерной отрасли. Китай разрабатывает пятилетний план по набору к 2020 году 20 000 новых инженеров для своей ядерно-энергетической программы, а Ядерно-энергетическая корпорация Индии расширяет свои существующие программы набора кадров, чтобы более чем удвоить численность инженеров к 2017 году.

56. В случае реализации более высоких прогнозов развития ядерной энергетике, рассмотренных в разделе А.2, эти усилия должны оказаться успешными, и их необходимо будет многократно активизировать. Эта задача будет трудной. Например, в случае осуществления высокого прогноза Агентства потребуется ежегодно до 2030 года вводить в эксплуатацию в среднем 22 новых реактора. Это значительно больше, чем в среднем 3 новых реактора, которые ежегодно подключались к энергосетям в 2000-2009 годах, и даже на одну треть больше, чем в среднем 16 новых реакторов, которые ежегодно вводились в строй в 70-х годах прошлого века. Тем не менее даже при высоком прогнозе мощность АЭС растет лишь на 0,5% быстрее, чем мощность всех электростанций. Это означает, что потребности в людских ресурсах для ядерной энергетике будут расти лишь ненамного быстрее, чем потребности в ЛР для производства электроэнергии с использованием угля, природного газа и возобновляемых источников энергии. Так что задача, стоящая перед ядерной энергетикой, не является исключительной.

57. Вместе с тем для ее выполнения требуются более точные данные,

- чтобы оценить потребности в рабочей силе в различных странах для проектирования АЭС, регулирования соответствующих вопросов, изготовления материалов и оборудования для АЭС, их строительства, эксплуатации и технического обслуживания,

- чтобы оценить возможности удовлетворения этих потребностей в рамках существующих программ,
- чтобы оценить объем инвестиций и сроки, необходимые для расширения существующих программ обучения и подготовки кадров в целях восполнения любой прогнозируемой нехватки рабочей силы.

58. В настоящее время работу по сбору информации относительно потребностей в людских ресурсах ведут АЯЭ/ОЭСР, которое упор делает на наблюдаемые в ОЭСР тенденции после выпуска им в 2000 году доклада, озаглавленного “Образование и профессиональная подготовка в ядерной области: причина для беспокойства?”, и Европейский ядерно-энергетический форум. Вместе с тем, сбор и анализ данных, которые позволили бы сделать более всеобъемлющий вывод по вопросу людских ресурсов для ядерной энергетики на глобальном уровне, требуют скоординированных международных усилий. В этой связи Агентство, в сотрудничестве с АЯЭ/ОЭСР, ВАО АЭС, Всемирной ядерной ассоциацией, Институтом ядерной энергии и Лос-Аламосской национальной лабораторией в США, Японским агентством по атомной энергии, Отраслевым советом "Коджент" по вопросам людских ресурсов в Соединенном Королевстве и другими, в марте 2010 года на проходившей в Абу-Даби Международной конференции по развитию людских ресурсов для разработки и расширения ядерно-энергетических программ объявило о начале новой международной инициативы. Планируется, что в результате реализации этой инициативы в глобальном масштабе будут осуществлены следующие мероприятия: обследование людских ресурсов на существующих атомных электростанциях, включая подрядчиков и поставщиков; обследование спроса и предложения людских ресурсов для ядерных регулирующих органов; обследование образовательных организаций и программ, связанных с ядерной энергетикой; разработка средств планирования рабочей силы для стран, рассматривающих возможность принятия новых ядерно-энергетических программ или приступающих к их реализации; интеграция сведений, полученных в результате вышеупомянутой работы, в доступную базу данных, которая может использоваться для моделирования глобального или национального спроса и предложения людских ресурсов.

В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

В.1. Усовершенствованные ядерные системы⁹

В.1.1. ИНПРО и МФП

59. Международный проект Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) обеспечивает форум, посредством которого обладатели и пользователи технологий вместе рассматривают инновационные ядерно-энергетические системы. С момента учреждения ИНПРО в 2001 году число членов этого проекта выросло до 31, и они обеспечивают 75% мирового ВВП и представляют 65% населения планеты. В 2009 году деятельность в рамках ИНПРО была сгруппирована по пяти основным направлениям: оценка ядерно-энергетических систем (ОЯЭС) с использованием методологии ИНПРО; глобальное видение, сценарии и пути перехода к устойчивому ядерному развитию; инновации в области ядерных технологий; инновации в институциональных механизмах; и форум для диалога в рамках ИНПРО по инновациям в ядерной энергетике.

60. В 2009 году Беларусь начала новую ОЯЭС. Опубликовано девятитомное руководство для пользователей методологии ИНПРО, и ИНПРО предложил "пакет поддержки ОЯЭС", который включает подготовку кадров, миссии по оказанию поддержки, а также помощь в осуществлении, анализе и оценке результатов. Также выпущены публикации "Инструменты и методологии МАГАТЭ для планирования энергетических систем и оценок ядерно-энергетических систем" и "Общие пользовательские соображения развивающихся стран в отношении будущих ядерно-энергетических систем". В рамках ИНПРО завершены исследования по глобальным сценариям и региональным тенденциям развития ядерной энергетики в XXI веке, а также по юридическим и институциональным вопросам транспортельных атомных электростанций.

61. Посредством системы контрактов и соглашений Международный форум "Поколение IV" (МФП) координирует исследовательскую деятельность в области шести ядерно-энергетических систем следующего поколения, выбранных в 2002 году и описанных в "Дорожной карте технологий для ядерно-энергетических систем Поколения IV", – газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах (GFR), быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем, реакторов на солевых расплавах, реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (SFR), надкритических водоохлаждаемых реакторов (SCWR) и сверхвысокотемпературных реакторов (VHTR). Большинство осуществляемых проектов по отдельным системам, однако, не входит в программу МФП. В настоящее время МФП насчитывает 13 членов¹⁰.

⁹ Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в области усовершенствованных ядерных реакторов содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада МАГАТЭ за 2009 год (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>). См. также INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Terms for describing new, advanced nuclear power plants*, IAEA-TECDOC-936 (1997); *Status of liquid metal cooled fast reactor technology*, IAEA-TECDOC-1083 (1999); *Current status and future development of modular high temperature gas cooled reactor technology*, IAEA-TECDOC-1198 (2001); *Heavy Water Reactors: Status and Projected Development*, Technical Reports Series No. 407 (2002); *Review of national accelerator driven system programmes for partitioning and transmutation*, IAEA-TECDOC-1365 (2003); *Status of advanced light water reactor designs: 2004*, IAEA-TECDOC-1391 (2004); *Status of innovative small and medium sized reactor designs: 2005*, IAEA-TECDOC-1485 (2005); *Status of Small Reactor Designs Without On-Site Refuelling*, IAEA-TECDOC-1536 (2007); *Liquid Metal Cooled Reactors: Experience in Design and Operation*, IAEA-TECDOC-1569 (2007); и *Advanced Applications of Water Cooled Nuclear Power Plants*, IAEA-TECDOC-1584 (2008).

¹⁰ Аргентина, Бразилия, Евратом, Канада, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США, Франция, Швейцария, Южная Африка и Япония.

62. К концу 2009 года девять членов МФП подписали "Рамочное соглашение по международному сотрудничеству в исследованиях и разработках по ядерно-энергетическим системам поколения IV": Евратом, Канада, Китай, Республика Корея, США, Франция, Швейцария, Южная Африка и Япония. Это рамочное соглашение определяет механизмы МФП для осуществления сотрудничества, т.е. договоренности по системам и договоренности по проектам. Договоренности по системам зафиксированы для четырех из шести выбранных систем: реакторов GFR, SCWR, SFR и VHTR. В 2009 году министерство науки и технологий Китая присоединилось к договоренности по системам для реакторов SFR, и четвертая договоренность по проектам для SFR – по безопасности и эксплуатации – вступила в силу.

63. Агентство и МФП сотрудничают с целью исключения дублирования и достижения синергизма. Сотрудничество включает использование Агентством разработанной МФП модели экономической оценки ECONS в целях оценки затрат на газоохлаждаемые реакторы, а также использование в рамках МФП разработанной Агентством модели экономической оценки для производства водорода с помощью ядерной энергии – HEER. МФП также сотрудничает в осуществлении проекта координированных исследований Агентства по характеристикам теплопередачи и испытанию компьютерных программ для теплогидравлических расчетов для надкритических водоохлаждаемых реакторов.

V.1.2. Международная система сотрудничества в области ядерной энергии (МССЯЭ)

64. Первоначально Международная система сотрудничества в области ядерной энергии (МССЯЭ) была создана в 2006 году Соединенными Штатами как Глобальное ядерно-энергетическое партнерство (ГЯЭП). Она включает: а) совместные усилия к настоящему времени 25 стран, пришедших к согласию относительно необходимости расширения использования ядерной энергии во всем мире, и б) национальную программу США, имеющую целью внедрение технологий рециклирования, изготовления топлива и реакторных технологий для разрушения долгоживущих радиоактивных элементов в отработавшем топливе. Осуществление национальной программы США было прекращено в 2009 году, однако совместные международные усилия продолжались в рамках совещаний двух рабочих групп партнерства – по надежным топливным услугам и по развитию инфраструктуры, а также руководящей группы в апреле и совещания исполнительного комитета на уровне министров, проведенного в октябре в Китае. В процессе преобразований, призванных обеспечить более широкие возможности при более широком участии, в июне 2010 года название этого совместного международного усилия было изменено.

V.1.3. Другая деятельность по разработке усовершенствованных ядерных систем

65. Помимо работ в рамках ИНПРО, МФП и МССЯЭ в ряде стран, компаний и партнерских объединений ведутся работы по исследованиям, разработке и внедрению усовершенствованных ядерных реакторов деления. Эти усилия составляют большую часть работы, осуществляемой во всем мире по усовершенствованным ядерным системам, и охватывают высокотемпературные реакторы, реакторные системы на быстрых нейтронах и усовершенствованные легководные реакторы различной мощности и для разных применений. Развитие событий в 2009 году во многом представляет собой продолжение прогресса, о котором кратко сообщалось в *Обзоре ядерных технологий – 2009*¹¹, и более подробное описание будет представлено в следующем обновлении доклада Агентства "Международное состояние и перспективы ядерной энергетики", которое будет выпущено в 2010 году.

¹¹ См. <http://www.iaea.org/Publications/Reports/ntr2009.pdf>.

В.2. Термоядерный синтез

66. Семью сторонами ИТЭР (Китаем, Индией, Республикой Корея, Российской Федерацией, США, Японией и Европейским союзом) осуществлялась запланированная работа по подготовке инфраструктуры и площадки для Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). В марте была завершена подготовка площадки. Были достигнуты договоренности на закупки оборудования на сумму приблизительно 1,5 млрд. евро, что составляет около одной трети общего объема предполагаемых закупок.

67. На основе официального соглашения о сотрудничестве¹² Агентство и Организация ИТЭР начали планирование международного сотрудничества по обучению, обмену персоналом, проведению конференций и подготовке публикаций по элементам и оборудованию установок термоядерного синтеза. Продолжалось привлечение – при поддержке со стороны Агентства – молодых ученых-физиков со специализацией по термоядерному синтезу и физике плазмы к проведению совместных экспериментов (и к подготовке последующих публикаций) по термоядерному синтезу на существующих установках: в мае бразильским научным сообществом, занимающимся токамаками, были организованы эксперименты по явлениям турбулентности в плазмах токамака, которые ухудшают удержание энергии.

68. Было завершено строительство национальной установки для термоядерного зажигания (NIF) в Лабораториях им. Лоуренса Ливермора в США, и NIF была открыта в мае. Она имеет 192 лазера с суммарной энергией, равной приблизительно 1,5 мегаджоуля, для получения излучения в "hohlraum", необходимого для поджига реакции термоядерного синтеза в дейтериево-тритиевых таблетках. Первоначальные результаты по взаимодействию пучков в "hohlraum" были сообщены в сентябре на Международной конференции по научным основам и применениям инерционного термоядерного синтеза, и они свидетельствуют о готовности NIF начать проведение физических экспериментов, связанных как с конечным производством энергии с использованием инерционного термоядерного синтеза, так и достижением лучшего понимания характера и эволюции вселенной.

С. Атомные и ядерные данные

69. Основные базы ядерных данных, разработанные Международной сетью центров данных по ядерным реакциям и Международной сетью оценщиков данных о строении и распаде ядра, которые координируются Агентством, постоянно совершенствуются в отношении качества и полноты данных, их наглядного представления и их глобального распространения. Особо следует отметить международное сотрудничество в 2009 году по вопросам обеспечения качества в работе главной базы экспериментальных данных по ядерным реакциям (EXFOR). Были открыты новые библиотеки данных для применений в расчетах реакторов на быстрых нейтронах, нейтронной дозиметрии и анализе материалов с помощью ионных пучков. Количество операций поиска на веб-серверах сотрудничающих центров в последние два года возрастало примерно на 10 процентов в год.

¹² Воспроизведено в документе INFCIRC/25/Add.8, доступном на веб-сайте Агентства по адресу <http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2009/infcirc25a8.pdf>.

70. Передовые методы планирования и физической дозиметрии с помощью протонных и ионных пучков основываются на компьютеризованных моделях (методы Монте-Карло), в которых в качестве одной из важных составляющих используются ядерные данные. В 2009 году в Германии и Японии были введены в эксплуатацию две новых ионно-лучевых установки. На близкой к завершению строительства стадии находятся более десяти центров лучевой терапии. На Международной конференции 2009 года по ионно-пучковому анализу были сделаны сообщения об использовании ионных пучков в новых сферах, таких как молекулярная визуализация и исследование наночастиц и наноразмерные устройства, микротомография и ионно-пучковый анализ на поверхности Марса.

71. Что касается ядерной энергетики, то в ядерной отрасли Европы предпринимаются усилия по проверке новой версии 3.1.1 объединенной библиотеки оцененных ядерных и термоядерных данных (JEFF-3.1.1) для использования ее при анализе безопасности и оперативном планировании в рамках имеющегося реакторного парка и для анализа конструкций реакторов поколения IV. В отношении термоядерного синтеза был опубликован "Справочник данных по активации, рассчитанных с использованием EASY-2007" (Handbook of Activation Data Calculated Using EASY-2007), в котором обобщен более чем 20-летний опыт исследований данных по ядерным реакциям, связанных с термоядерными устройствами. В базах данных во всем мире собираются атомные и молекулярные данные, имеющие важнейшее значение для проекта ИТЭР, в частности в отношении процессов, связанных с легкими элементами в диверторе и периферийными областями плазмы. Эти новые базы данных включают данные о процессах возбуждения, ионизации, рекомбинации и столкновения частиц.

D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

D.1. Ускорители

72. Существует примерно 163 электростатических ускорителя на низкую энергию, которые находятся в 50 государствах-членах, 9 источников нейтронов скалывания, которые находятся в 5 государствах-членах, и 50 источников синхротронного излучения, которые находятся в 20 государствах-членах. Количество электростатических ускорителей на низкую энергию в мире остается по сути постоянным, поскольку их выведение из эксплуатации в развитых странах уравнивается появлением новых ускорителей в развивающихся странах, которые используются для оказания ядерных аналитических услуг. Количество источников нейтронов скалывания и синхротронного излучения увеличивается на несколько единиц в десятилетие.

73. Современные ускорители используются в областях медицинской радиационной физики, радиобиологии, экспериментальной ядерной физики, сельского хозяйства, процессов стерилизации, материаловедения, изучения артефактов культурного наследия и охраны окружающей среды. Учитывая задачи в отношении кадровых ресурсов в области ядерной науки и техники (см. раздел А.4.3), тематика ускорителей малой мощности все чаще включается в учебные планы ВУЗов, работающих в области ядерной науки и техники, с целью помощи студентам в приобретении общих и специализированных навыков. Так например, в 2009 году Гана создала национальную ускорительную установку для дальнейшего укрепления своего институционального потенциала по содействию исследованиям и развитию кадровых ресурсов. Ускорители малой мощности, в частности, дают возможности для приобретения практических знаний и опыта, тогда как на более крупных установках таких возможностей, как правило, нет.

74. Мишени источников нейтронов скалывания, используемые на ускорителях большой мощности, обеспечивают получение полезной информации о радиационных повреждениях в системах, управляемых ускорителем, в том числе в тех, которые предназначены для

трансмутации ядерных отходов и производства электроэнергии. В 2009 году начался демонтаж конструкции жидкометаллической мишени в рамках эксперимента с пилотной МВт мишенью (MEGAPIE) на швейцарском источнике нейтронов скалывания (SINQ), которая облучалась в 2006 году в течение пяти месяцев на уровне мощности 0,8 МВт. Конструкционные материалы мишени разделяются и разрезаются на пробы для тестирования свойств облученного материала международными партнерами по MEGAPIE. Полученная информация поможет в проектировании будущих мишеней большой мощности с длительным сроком службы в системах, управляемых ускорителем.

D.2. Исследовательские реакторы

75. Исследовательские реакторы могут применяться в самых разных областях – это подготовка кадров в области ядерных наук, ядерные исследования, испытания материалов, производство радиоизотопов в промышленных и медицинских целях и для коммерческих услуг, таких как легирование кремния, нейтронно-активационный анализ, улучшение свойств драгоценных камней и неразрушающие испытания. Они могут быть также одной из вех в национальных программах начала развития ядерной энергетики. В условиях роста интереса к ядерной энергии более 20 государств-членов в настоящее время рассматривают возможность сооружения новых исследовательских реакторов. В 2009 году коалиция стран в рамках Инициативы в области восточноевропейских исследовательских реакторов при поддержке Агентства организовала учебные курсы по групповой подготовке стажеров для содействия государствам-членам, заинтересованным в начале работ по проекту сооружения первого исследовательского реактора. На курсах ведется подготовка, связанная с планированием, оценкой, разработкой, строительством, вводом в эксплуатацию, использованием, эксплуатацией и техническим обслуживанием исследовательских реакторов;

76. В мире насчитывается более 240 находящихся в эксплуатации исследовательских реакторов. В 2009 году новые исследовательские реакторы в эксплуатацию не вводились, и ни один из них из эксплуатации выведен не был. По мере вывода из эксплуатации более старых реакторов и замены их меньшим числом многоцелевых реакторов ожидается, что к 2020 году количество находящихся в эксплуатации исследовательских реакторов сократится до 100-150. Для обеспечения широкого доступа к этим установкам и их эффективного использования потребуются более широкое международное сотрудничество. Сети сотрудничающих партнеров помогут также в модернизации существующих установок и разработке новых установок. В 2009 по-прежнему отмечался прогресс в создании таких сетей (в средиземноморском, восточноевропейском, карибском и центральноазиатском регионах, плюс тематическая сеть для анализа остаточного напряжения и структуры), но все еще сохраняется потребность в широкомасштабной дополнительной работе.

77. Инициатива по сокращению глобальной угрозы США (ИСГУ) служит основой для одного из масштабных усилий по переводу топлива исследовательских реакторов и мишеней, используемых в установках по производству изотопов, с высокообогащенного урана (ВОУ) на НОУ. В 2009 году сфера охвата этой программы увеличилась со 129 исследовательских реакторов до 200. К концу апреля 2010 года в разных странах 72 исследовательских реактора, которые эксплуатировались с использованием ВОУ топлива, были переведены на НОУ топливо или были остановлены до перевода, и определены еще 33 реактора, которые потенциально могут быть переведены на существующие аттестованные виды НОУ топлива. Для перевода высокопродуктивных исследовательских реакторов потребуется разрабатываемое в настоящее время новое высокоплотное топливо (см. пункт 79 ниже). Что касается перевода с ВОУ на НОУ мишеней, используемых в производстве молибдена-99, то Южная Африка, которая в 2009 году полностью перевела реактор Safari-1 на топливо на основе НОУ, стала первым крупным производителем молибдена-99, который сообщил о существенном прогрессе в переводе на НОУ также мишеней для производства медицинских изотопов.

78. В 2009 году значительные успехи были достигнуты в реализации Программы по возвращению российского топлива для исследовательских реакторов (RRRFR). В Российскую Федерацию из Венгрии, Казахстана, Ливии, Польши и Румынии в порядке возврата было отправлено приблизительно 270 кг отработавшего ВОУ ядерного топлива и 49 кг свежего ВОУ ядерного топлива. Со времени создания этой программы в Российскую Федерацию было успешно возвращено приблизительно 1350 кг ВОУ, включая свежее и отработавшее ядерное топливо.

79. Для перевода высокопоточных и высокоэффективных исследовательских реакторов требуется разрабатываемое в настоящее время усовершенствованное уран-молибденовое топливо весьма высокой плотности. В этой связи в последние несколько лет были сделаны значительные успехи. Изучение характеристик и поведения уран-молибденового топлива ведется на основе сотрудничества в рамках Международной рабочей группы по разработке топлива, в которую входят Аргентина, Бельгия, Германия, Канада, Республика Корея, Российская Федерация, США, Франция и Чили. В США усилия сосредоточены на разработке монолитного молибден-уранового топлива для использования в высокопоточных исследовательских реакторах. По мере совершенствования технологии изготовления достигаются важные результаты. В 2009 году для перевода высокопоточных европейских реакторов на НОУ была расширена новая европейская инициатива по аттестации дисперсного уран-молибденового топлива весьма высокой плотности на основе НОУ.

80. Хотя в 2009 году был достигнут существенный прогресс в разработке и аттестации уран-молибденового топлива, для своевременного обеспечения коммерческих поставок аттестованного НОУ топлива весьма высокой плотности необходим дальнейший прогресс и проведение масштабных испытаний.

Е. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях

Е.1. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве¹³

81. Анализ генетических ресурсов животных был определен Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и Всемирной организацией по охране здоровья животных (МББЭ) в качестве высокоприоритетной задачи, поскольку он обеспечивает ключевые варианты устойчивого развития животноводства и укрепления продовольственной безопасности. При поддержке со стороны МАГАТЭ был достигнут важный прогресс в анализе генетического разнообразия пород крупного рогатого скота, овец и коз в целях улучшения селекции желательных животных для повышения продуктивности, поскольку их устойчивость к эндемическим болезням и их способность к адаптации к суровым условиям

¹³ Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) или на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>.

во многих случаях связаны с их генетическим строением. Данные и результаты такого генетического анализа имеют ценное значение для обеспечения устойчивости будущих программ разведения животных и способности производить в их рамках селекцию животных с подходящими генами. Однако имеются значительные пробелы в возможностях использования генетических данных по результатам этих анализов для программ разведения животных, в особенности в развивающихся странах. В связи с этим был разработан системный интерфейс компьютерной сети для обеспечения доступности генетических данных для всех государств-членов, а также для обеспечения доступа к лабораторным протоколам, стандартным рабочим процедурам для анализа генов, средствам ведения геномного поиска и базе данных о молекулярных маркерах в домашнем скоте¹⁴. Были получены геномные и фенотипические данные по более чем 4000 овец и коз 89 пород. Эти данные будут использоваться для выявления общих генов, которые могли бы быть использованы для повышения продуктивности животноводства.

82. Установлению последовательности полного генома крупного рогатого скота способствовали меченые радиоизотопом нуклеотидные зонды¹⁵. Эти инструменты обеспечивают средства для селекции животных с более низким энергопотреблением, которые в меньшей степени воздействуют на окружающую среду, и в особенности животных с меньшими выбросами парниковых газов. Это открытие может привести к повышению эффективности производства мяса и молока и дает новую информацию об эволюции млекопитающих, а также о биологии в конкретном применении к крупному рогатому скоту. Оно указывает также направление исследований, результатом которых может стать более устойчивое производство продовольствия в мире, который столкнулся с проблемой глобального роста численности населения.

83. Ранняя и оперативная диагностика болезней животных при использовании ядерных методов в сочетании с современной биотехнологией имеет решающее значение в усилиях по ограничению воздействия как на животных, так и на людей, а также в усилиях по повышению продовольственной безопасности. Высокая чувствительность и специфичность ядерных технологий вместе с современной биотехнологией могут использоваться для конкретного обнаружения патогенов болезней животных до того, как они станут причиной заболевания, для отслеживания генетического фингерпринтинга животных и для определения характеристик микроорганизмов, влияющих на здоровье животных и людей. Так например, молекулярные ядерные технологии позволяют проводить подтверждающую диагностику птичьего гриппа и свиного гриппа в течение суток, тогда как на традиционную диагностику двух этих заболеваний может уйти до одной недели.

¹⁴ *Development of RT-db (Real Time Database) for Quantitative Trait Loci (QTL)/Genes/DNA Sequences and Genetic Characterization in Small Ruminants* (http://www.intl-pag.org/16/abstracts/PAG16_P08a_852.html).

¹⁵ The Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium, Christine G. Elsik, Ross L. Tellam, and Kim C. Worley. The Genome Sequence of Taurine Cattle: A Window to Ruminant Biology and Evolution Science 24 April 2009 324: 522-528.



РИС. Е-1. Местные мьянманские козы, обладающие устойчивостью к паразитарным болезням и хорошо адаптировавшиеся к местной окружающей среде, которые использовались в работе по картированию генома с использованием ядерных технологий.

Е.2. Борьба с насекомыми-вредителями

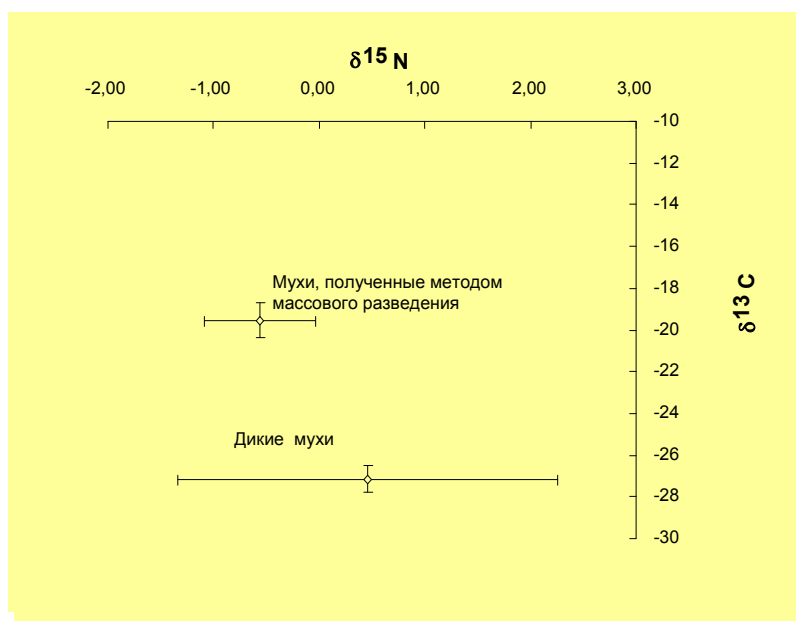
84. Использование ядерных методов в области борьбы с насекомыми-вредителями не ограничивается применением гамма-облучения в целях стерилизации насекомых в рамках применения метода стерильных насекомых (МСН) и связанных с ним генетических методов регулирования в масштабах района, но и включает также использование изотопов для исследований биологии, поведения, биохимии, экологии и физиологии насекомых. Агентство участвовало также в использовании радионуклидов для энтомологических исследований, направленных на решение проблем, связанных с насекомыми-вредителями. "Пособие Агентства для лабораторных занятий по использованию ядерных методов в исследованиях насекомых и борьбе с ними", переизданное и опубликованное в 1992 году, является значительным вкладом Агентства в работу в этой области. С середины 90-х годов прошлого века произошли значительные изменения в глобальных условиях работы в научной области и в социальной среде. С точки зрения экологии более не считается приемлемым производить выбросы радионуклидов, содержащихся в насекомых, в полевых условиях. Кроме того, из-за соображений безопасности использование радионуклидов в лаборатории становится все более дорогостоящим.

85. Методы стабильных изотопов заменяют многие радионуклидные методы. Такие изотопы являются нерадиоактивными, они естественным образом повсеместно присутствуют в окружающей среде и при работе с ними персонал не подвергается рискам отрицательного воздействия на здоровье. Если учесть несколько соображений безопасности, то не требуется никаких специальных положений в отношении зданий и оборудования. Все эти факторы помогают снизить затраты и способствуют использованию стабильных изотопов, а также дают возможность производить безопасные выбросы насекомых, меченных такими изотопами, в окружающую среду.

86. В 2009 году Агентство и ФАО опубликовали "Руководство по использованию стабильных изотопов в энтомологии", в котором приводятся базовые принципы и методы научных исследований с применением стабильных изотопов и рассматриваются вопросы использования стабильных изотопов в энтомологических исследованиях. Благодаря прогрессу, достигнутому

за последние 25 лет в области изотопной масс-спектрометрии в плане обнаружения, точности и автоматизации, возможности для проведения экспериментов стали как никогда широкими. Естественные процессы в биосфере характеризуются отличительными изотопными сигналами, и потому стабильные изотопы могут быть чрезвычайно полезны в энтомологических исследованиях для получения ответа на многие вопросы из областей биологии и экологии, такие как отслеживание передвижений насекомых, модели кормления в продовольственной цепочке, перенос питательных веществ и семенной жидкости, а также на конкретные вопросы в отношении использования ресурсов.

87. С другой стороны, один из главных недостатков использования стабильных изотопов – это капитальные затраты на изотопные масс-спектрометры. Кроме того, для этого оборудования требуются терморегулируемая среда и квалифицированный персонал, который мог бы поддерживать в рабочем состоянии и обслуживать чувствительные контрольно-измерительные приборы. Эти вопросы могут быть решены путем перевода изотопного анализа на контрактную основу в лабораторию проведения анализа на коммерческих условиях. В настоящее время существует много лабораторий, предлагающих проведение изотопного анализа по цене за одну анализируемую пробу, а перевозить пробы с содержанием стабильных изотопов в различные части мира просто, безопасно и недорого.



*РИС. Е-2. Сигнатура стабильных изотопов может использоваться для того, чтобы отличить выпускаемых мух, полученных методом массового разведения в лабораторных условиях, от диких мух, что делается для целей мониторинга популяций вредителей в рамках осуществления программ с использованием метода стерильных насекомых. На рисунке показаны средние изотопные сигнатуры самцов мухи *Ceratitis capitata*, полученных на установке для массового разведения и живущих в естественных условиях; линии отражают плюс/минус стандартное отклонение от средних величин.*

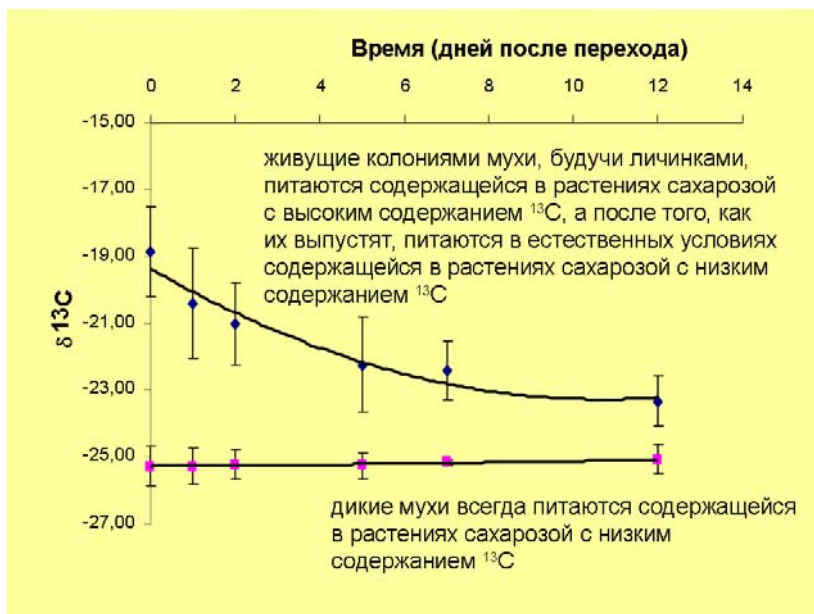


РИС. Е-3. Изотопная сигнатура мух, полученных методом массового разведения, остается постоянной в течение всей их жизни, даже когда мух выпускают в день 0, когда они переходят с питания личинок, имеющего высокое содержание углерода-13, на рацион взрослой особи с низким содержанием углерода-13, имитируя практику метода стерильных насекомых. Стерильных мух можно отличить от диких мух с вероятностью свыше 99%.

Е.3. Качество и безопасность пищевых продуктов

88. Облучение пищевых продуктов – ценный метод борьбы с микроорганизмами, в том числе теми, которые вызывают целый ряд заболеваний пищевого происхождения. Вспышки заболеваний пищевого происхождения связаны со всеми видами пищевых продуктов, и патогенные микроорганизмы могут переноситься в продукты питания из различных источников загрязнения, происходящего при транспортировке, обработке и приготовлении продуктов.

89. Поскольку длительная термообработка не является подходящим методом обработки для всех пищевых продуктов, альтернативным подходом к производству и обработке пищевых продуктов является облучение пищевых продуктов. Одним из значительных преимуществ технологии облучения является то, что при ее использовании микроорганизмы уничтожаются без значительного повышения температуры. Применение облучения к свежим овощам, фруктам и замороженным пищевым продуктам не влечет за собой значительных изменений их вкуса или консистенции. Его можно также использовать для обработки пищевых продуктов, которые готовят обычными методами и фасуют в упаковку для поставок потребителям. Еще одно преимущество облучения заключается в том, что при его применении уничтожаются вызывающие порчу организмы, что помогает дольше сохранять свежими мясные продукты, домашнюю птицу и морепродукты.

90. Большая часть осуществлявшейся ранее деятельности в области исследований и разработок, связанных с облучением пищевых продуктов, была посвящена обработке простых продуктов массового спроса, предназначенных для потребления широкими слоями населения. Однако наблюдаемый в последнее время прогресс свидетельствует о потенциальной

необходимости применения облучения пищевых продуктов для достижения исключительных уровней микробиологической безопасности в интересах конкретных целевых групп потребителей, которые очень чувствительны к микроорганизмам в рационе своего питания и нуждаются в надежном обеспечении безопасными и полноценными продуктами питания. Так например, люди с нарушенной иммунной системой особенно чувствительны к пищевым бактериям, что зачастую ограничивает набор пищевых продуктов, которые они могут употреблять. Для удовлетворения растущего спроса медицинского сообщества можно было бы путем применения облучения вести исследования и разработки в отношении ряда облучаемых пищевых продуктов, предназначенных для специальных диетических целей.



РИС. Е-4. Управление по контролю за качеством продуктов питания и медицинских препаратов США недавно одобрило облучение шпината из-за вспышек бактериальных заболеваний.

91. Следующие шаги в дальнейшем применении облучения пищевых продуктов заключаются в разработке и совершенствовании методов облучения в сочетании с другими технологиями обработки пищевых продуктов, которые пригодны для широкого круга продуктов питания. В частности, эти пищевые продукты должны быть пригодны для потребления конкретными целевыми группами, для которых необходимо обеспечить исключительные уровни пищевой гигиены. Применение облучения как самого по себе, так и в сочетании с другими технологиями пищевых продуктов, будет по-прежнему использоваться с целью разработки безопасных пищевых продуктов для диетологических, микробиологических исследований и проверки переносимости, что будет способствовать улучшению здоровья человека.

Е.4. Улучшение сельскохозяйственных культур

92. Вновь наблюдается активизация использования индуцирования мутаций для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и в поддержку фундаментальных исследований. Разрабатываются два новых метода: ионно-пучковая имплантация, открывающая возможность

для изотопного распада *внутри* клетки, и селекция в космосе (в слоях за пределами земной атмосферы), когда космические лучи проходят сквозь клетку, что дополняет другие методы, используемые в мутационной селекции растений. Количество мутантных сортов в мире, официально переданных для коммерческого производства, которые базируются на 170 различных видах растений, постоянно растет и приближается к 3100¹⁶. Тем временем в некоторых странах Азии сооружаются и применяются новые установки для мутагенной обработки, такие как установки ионной имплантации, гамма-фитотрон и теплица с использованием гамма-излучения.

93. Наряду с этим достигаются новые рубежи в разработке новейших технологий для быстрого и крупномасштабного обнаружения различных видов индуцированных мутаций. На молекулярном уровне наблюдается тенденция к разработке пакетов технологий, объединяющих современные биотехнологии, такие как высокопроизводительные технологии для скрининга и секвенирование следующего поколения, с индуцированием мутаций. Благодаря использованию системных высокопроизводительных методов скрининга по фенотипу, основанных на автоматизированных инструментальных средствах анализа изображений и робототехнических установках, как это в настоящее время делается в Центре феномики растений с использованием высокого разрешения, Австралия, можно обрабатывать очень большие коллекции мутантных сортов (т.е. 10 000-100 000 растений с полностью установленными фенотипическими признаками) и устранить так называемый "фенотипно-генотипный разрыв". Такого рода скрининг имеет жизненно важное значение, поскольку он позволяет селекционеру эффективно определять ценную мутантную линию, характеристики которой позволяют обеспечить увеличение продуктивности даже при неблагоприятных условиях. Поиск пути уменьшения несоответствия между имеющимися ресурсами мутантных сортов и полным спектром фенотипических признаков растений весьма важен для того, чтобы в полной мере использовать биоразнообразие растений, в том числе основных изучаемых сельскохозяйственных культур. Повышение эффективности за счет мутационной селекции на основе генетических методов может помочь как в деле повышения качества, так и доступности сортов сельскохозяйственных культур, в результате чего улучшится снабжение продовольствием и появится возможность снизить цены на пищевые продукты, что весьма необходимо. В настоящее время появилась возможность осуществлять секвенирование генома по оптимальным ценам, которые доступны для стран с низким уровнем дохода.

Е.5. Устойчивое рациональное использование земельных и водных ресурсов

Е.5.1. Улучшение управления водными ресурсами в сельском хозяйстве с использованием изотопных методов

94. Наличие почвенной воды для обеспечения роста сельскохозяйственных культур зависит от масштабов потерь воды с оголенных почв (т.е. испарения) и транспирации листьев растений. Для повышения эффективности использования воды для орошения важно количественно определить два этих компонента потерь воды. Однако из-за сложного взаимодействия с другими факторами, такими как интенсивность дождей осадков, состояние почвенных вод, глубина залегания корней растений и растительный покров, испарение и транспирация с трудом поддаются точному измерению в полевых масштабах. Стабильные изотопы в воде (кислород-18 и водород-2) можно эффективно использовать для установления такого

¹⁶ См. базу данных по мутантным сортам и генетическому фонду на <http://mvgs.iaea.org/>

взаимодействия, поскольку они являются естественными индикаторами движения воды в системе "почва-растительность-атмосфера". Испарение с поверхности почвы ведет к обогащению изотопного состава почвенных вод кислородом-18 и водородом-2. Транспирация же растений, напротив, не сказывается на изотопном составе почвенных вод. Недавно были успешно проведены исследования по количественному определению испарения и транспирации с использованием методов стабильных изотопов в воде на полусухих лугах, в хвойных лесах и системах земледелия. Полученная информация будет использоваться для разработки пакетов технологий и моделей, направленных на усовершенствование управления земельными и водными ресурсами в различных средах.



РИС. Е-4. Измерение испарения с поверхности воды и транспирации растений с поля кукурузы с использованием обычных и изотопных методов (фотография любезно предоставлена проф. Мэй Сюжунюм).

Е.5.2. Секвестрация почвенного органического углерода и смягчение последствий изменения климата

95. Секвестрация почвенного органического углерода (ПОУ) может снизить увеличение уровней содержания двуоксида углерода (CO_2) в атмосфере и смягчить последствия изменения климата. Посредством фотосинтеза растения используют CO_2 для роста. Когда растения умирают и разлагаются, происходит секвестрация некоторой части растительного углерода в почве в качестве ПОУ. Хотя был достигнут значительный прогресс в оценке ПОУ, пока нет полного понимания механизмов контроля и регулирования потоков ПОУ в почве. В частности, нет четкого определения связи между секвестрацией ПОУ и наличием азота и фосфора в почве. Благодаря использованию радиоактивных (углерод-14) и стабильных (углерод-13) изотопов углерода в сочетании с методом фракционирования изотопов углерода в почве и методом "мезокосма" (почвенных монолитов) было обнаружено, что наличие как азота, так и фосфора играет важнейшую роль в определении величины потенциала секвестрации ПОУ и разделения ПОУ на различные почвенные углеродные пулы с различным потенциалом поглощения. Для совершенствования моделей секвестрации ПОУ, в которых ощущается большая потребность, в качестве одного из инструментов смягчения последствий изменения климата необходимо оценивать секвестрацию ПОУ с учетом изменений в балансе азота и фосфора в агроэкосистемах, в которых для обеспечения устойчивого производства продовольствия все

большую остроту приобретает вопрос реабилитации земель. Такая информация очень важна, с тем чтобы учитывать сельское хозяйство в будущих механизмах торговли углеродом и сокращать выбросы углерода^{17,18}.

Г. Здоровье человека

Г.1. Борьба с недостаточным питанием с помощью ядерных методов

96. Дефицит питательных микроэлементов, "скрытый голод", оказывает воздействие на большую долю населения планеты, в особенности на младенцев, детей и женщин фертильного возраста в развивающихся странах. Дефицит витамина А, цинка и железа является основным поводом для озабоченности в области общественного здравоохранения, поскольку он служит причиной замедленного роста и когнитивного развития в раннем возрасте и плохого здоровья детей.

97. Необходимо срочно разработать эффективные, жизнеспособные продовольственные стратегии для борьбы с дефицитом питательных микроэлементов. Продовольственные стратегии включают обычные вмешательства, такие, как повышение питательной ценности пищевых продуктов и изменение режима питания, а также более инновационные подходы, такие, как улучшение питательных свойств основных пищевых продуктов – "биофортификация". В качестве неотъемлемой части разработки и оценки нутриционных вмешательств для борьбы с дефицитом питательных микроэлементов применяются ядерные методы с целью оценки биодоступности питательных микроэлементов.

98. Полученные в последнее время результаты применения методов стабильных изотопов для оценки биодоступности железа и каротиноидов провитамина А в уязвимых группах населения помогут работникам директивных органов, медицинским работникам и другим заинтересованным сторонам, в том числе работникам пищевой промышленности и селекционерам, в определении дальнейших шагов. Например, общее воздействие стратегий повышения питательной ценности пищевых продуктов для борьбы с дефицитом железа будет зависеть от биодоступности соединений железа, а также от присутствия ингибиторов и усилителей поглощения железа в рационе питания, как это подчеркивается в руководящих принципах, недавно разработанных Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и ФАО¹⁹.

¹⁷ См. также Trumbore, S. 2009. *Radiocarbon and soil carbon dynamics*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 37:pp. 47–66.

¹⁸ Bradford, M., Fierer, N., Jackson, R., Maddox, T., Reynolds, J., 2008. *Nonlinear root-derived carbon sequestration across a gradient of nitrogen and phosphorous deposition in experimental mesocosms*. Global Change Biology, 14, pp. 1113–1124.

¹⁹ World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Guidelines on food fortification with micronutrients*. Allen L, De Benoist B, Dary O, Hurrell RF, eds. <http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241594012/en/index.html>



РИС. F-1. Младенцы, дети и женщины фертильного возраста в развивающихся странах являются наиболее уязвимыми группами населения, подвергающимися риску "скрытого голода" (фотография любезно предоставлена Стефанией Гуд, Эфиопия).

99. Методы стабильных изотопов для оценки общих количеств витамина А применяются в настоящее время для получения новой информации о биологической ценности оранжевого батата с высоким содержанием каротиноидов провитамина А²⁰. Агентство тесно взаимодействует с международными партнерами, такими, как "Харвест Плас", в этой области, а также в оценке других устойчивых сельскохозяйственных культур с повышенной питательной ценностью, таких, как пшеница с высоким содержанием цинка²¹.

100. Важность этих усилий подчеркивается в недавнем докладе конференции "Копенгагенский консенсус 2008"²². Группа из восьми наиболее выдающихся экономистов определила степени приоритетов предлагаемых решений глобальных проблем на основе экономических затрат и выгод. Решения для борьбы с дефицитом питательных микроэлементов, т.е. использование пищевых добавок, повышение питательной ценности пищевых продуктов и улучшение их питательных свойств, были определены в качестве первого, третьего и пятого приоритетов из 30 решений десяти различных проблем, поставленных специалистами в области питания.

F.2. Гибридные системы визуализации СПЕКТ/КТ и ПЭТ/КТ²³

101. Одной из наиболее инновационных областей современной медицины является диагностическая визуализация. Она может быть разделена на две широких категории: методы, которые весьма точно определяют анатомические подробности, и методы, которые обеспечивают получение функциональных или молекулярных изображений. В первой категории примеры включают компьютерную томографию (КТ) и магнитно-резонансную визуализацию (МРВ), которые определяют структурные изменения до миллиметрового уровня. Во второй категории примеры включают позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (СПЕКТ), исследующие заболевания вплоть до молекулярного уровня.

²⁰ См. <http://www.harvestplus.org/content/biofortified-foods-offer-protection-vitamin-deficiency>

²¹ См. <http://www.harvestplus.org/content/study-shows-women-absorb-more-zinc-biofortified-wheat>

²² См. <http://www.copenhagenconsensus.com/The%2010%20challenges-1.aspx>

²³ Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) или на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>.

102. В течение последнего десятилетия развитие технологии позволило объединить анатомические и функциональные методы в гибридные системы визуализации, такие, как СПЕКТ/КТ и ПЭТ/КТ. Гибридные системы визуализации позволяют проводить комбинированные исследования как анатомических, так и функциональных органов человека. Клинические выгоды многочисленны и включают улучшение диагностики и локализации телесных повреждений, а также более точное определение характеристик структурных и метаболических изменений в установленных повреждениях. В результате этого выявление заболеваний происходит на самой ранней стадии и с большей точностью, что позволяет проводить скорейшее лечение с самыми высокими шансами на полное и быстрое выздоровление. Гибридные системы визуализации успешно применяются в кардиологии и онкологии. ПЭТ/КТ используется для оценки нарушения кровообращения при блокаде коронарной артерии, что может привести к омертвлению тканей. В онкологии гибридная визуализация позволяет обнаруживать рак на ранней стадии, показывая изменения на клеточном уровне задолго до появления анатомических изменений. В ортопедической хирургии СПЕКТ/КТ и ПЭТ/КТ являются лучшими методами визуализации, применяемыми для исследования болей в пояснице, и могут также использоваться в послеоперационных и посттравматических ситуациях. Другие области применения гибридной визуализации включают оценку заболеваний, протекающих в легкой форме и поражающих мозг, щитовидную железу, околощитовидную железу и любые другие органы человеческого тела.

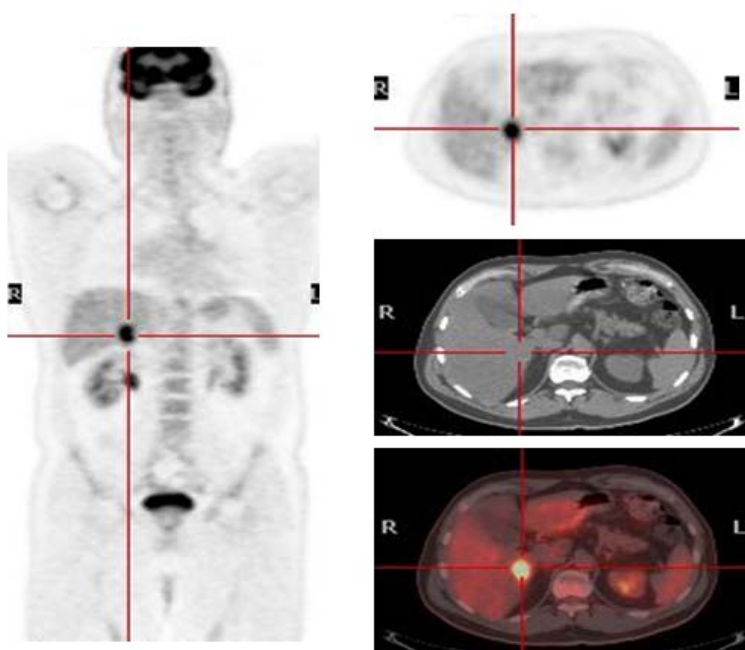


РИС. F-2. На снимке выше показаны изображения внутренних органов 50-летнего мужчины с раковой опухолью толстой кишки, которая была удалена в результате хирургического вмешательства. Такие изображения важны для контроля развития заболевания. На более светлых участках снимка показан подъем онкомаркера, обусловленный возможным рецидивом опухоли. ПЭТ/КТ показывает единичную метастазу печени без каких-либо других повреждений, что свидетельствует о том, что она может быть удалена путем дополнительного хирургического вмешательства (фотография любезно предоставлена С. Фанти).

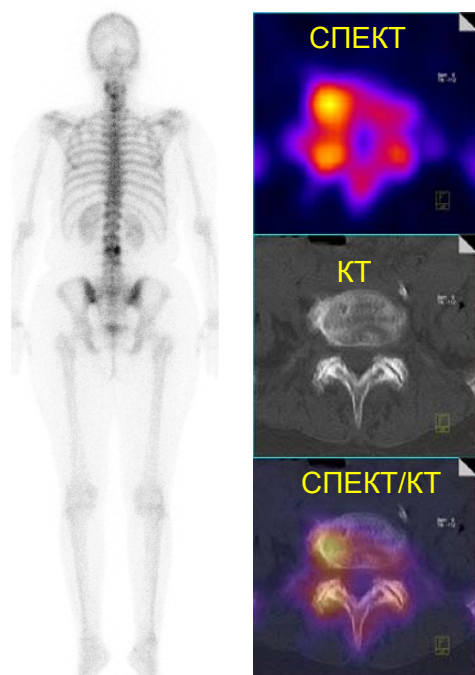


РИС. F-3. Исследование, проведенное с помощью СПЕКТ, показывает повышенный костный метаболизм в поясничном и шейном отделах позвоночника этой 65-летней женщины, у которой ранее была обнаружена меланома. На этих совместно зарегистрированных изображениях СПЕКТ и КТ показаны массивные костные изменения в анатомическом строении, связанные с дегенеративными процессами. Костные метастазы могут быть исключены.

Ф.3. Достижения в применении методов радиационной онкологии

103. В течение 2009 года в области радиационной онкологии появилось несколько новых технологических разработок. Этим разработкам было уделено особое внимание на организованной Агентством в апреле 2009 года Международной конференции по достижениям в радиационной онкологии (МКДРО)²⁴.

104. Первый важный вопрос касается усилий по оценке сравнительной ценности кобальтовых установок по сравнению с линейными ускорителями, что имеет особое значение для стран с низким и средним уровнем дохода. В ходе МКДРО и впоследствии в процессе проводившейся Агентством сравнительной оценки ядерных технологий в области здравоохранения, эксперты согласились с тем, что выбор между этими двумя методами лечения будет зависеть от нескольких факторов, в том числе от разработки национальных планов действий по борьбе с раком, существования необходимой критической массы компетентных научных и медицинских работников, а также наличия надлежащей инфраструктуры.

105. Во-вторых, проблемы неопределенности и точности в радиационной онкологии приобретают все большее значение в глобальных масштабах по мере того, как методы лечения становятся более сложными и более высокие дозы используются для улучшения показателей эффективности лечения раковых заболеваний. Существует возросшее понимание того, что деятельность по обеспечению качества и ведение точной документации требуются на каждом

²⁴ Дополнительную информацию можно получить по адресу <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings//Announcements.asp?ConfID=35265>

этапе лечения пациента. Поощряется разработка клинических руководящих принципов и протоколов, основанных на имеющихся данных.

106. Новым технологиям, таким, как лучевая терапия с модуляцией интенсивности дозы (ЛТМИ), радиотерапия с визуальным контролем (РТВК), а также использование протонов и заряженных частиц, уделяется все более пристальное внимание с целью обеспечения прочной научной фактологической основы клинической практики. Это имеет значение не только для стран с низким и средним уровнем дохода, но и для стран с высоким уровнем дохода, поскольку ресурсы ограничены и меры экономической эффективности становятся все более уместными.

107. Использование "гипофракционированных курсов лечения" также переживает новый подъем, благодаря усилиям по сокращению расходов, а также повышению точности облучения высокими дозами на технически передовом оборудовании.

Г.4. Воздействие цифровой технологии на радиологическую рентгенографию

108. Достижения в области цифровой технологии способствовали расширению применения компьютерной томографии (КТ). Внедрение скоростной широкомасштабной мультисрезной КТ, например, распространило использование КТ на целый диапазон применений от кардиологии до педиатрических исследований. Применение такой новой технологии влечет за собой облучение более высокими дозами и ставит под вопрос установленную практику определения дозы. Радиологическая диагностика представляет собой ту область медицины, которая имеет жизненно важное значение для эффективного здравоохранения. В среднем, каждый второй человек в мире ежегодно проходит радиологическое обследование. На рисунке 4 показано, что число радиологических обследований более чем удвоилось за последние 20 лет (данные Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН)). Существует заметный дисбаланс в географическом распределении услуг – действительно, менее 2% всех обследований, проводимых во всем мире, приходится на страны с низким уровнем дохода. Еще одной современной отличительной чертой радиологии является темп технического прогресса, который характеризуется решительным переходом от аналоговых изображений, на пленке, к методам цифровой визуализации.

109. Странам с низким уровнем дохода цифровая технология предоставляет неожиданные возможности, но также приносит и проблемы. К сожалению, многие развивающиеся страны по-прежнему почти полностью полагаются на ручное проявление пленки с целью получения изображения для постановки диагноза. Эта методология является технически проблематичной, в результате чего изображения часто получаются плохого качества. Она является также экологически неблагоприятной. Однако особенно критическим является то, что такая обработка может ограничить эффективное оказание услуг там, где ощущается дефицит радиологического оборудования и квалифицированных кадров. Оцифрованные медицинские изображения могут направляться по электронным каналам в удаленные места, что позволяет пунктам, расположенным на большом расстоянии или имеющим ограниченные ресурсы, получить доступ к образцово-показательным центрам для экспертной диагностики или оказания помощи в профессиональной подготовке кадров. По мере совершенствования этой технологии и дальнейшего сокращения расходов, цифровая визуализация будет становиться все более финансово конкурентоспособной в развивающихся странах. Продолжение

совершенствования цифровой технологии обещает будущую альтернативу ручной обработке изображений на пленке, что вселяет надежду на более эффективное и широкомасштабное использование радиологических услуг.

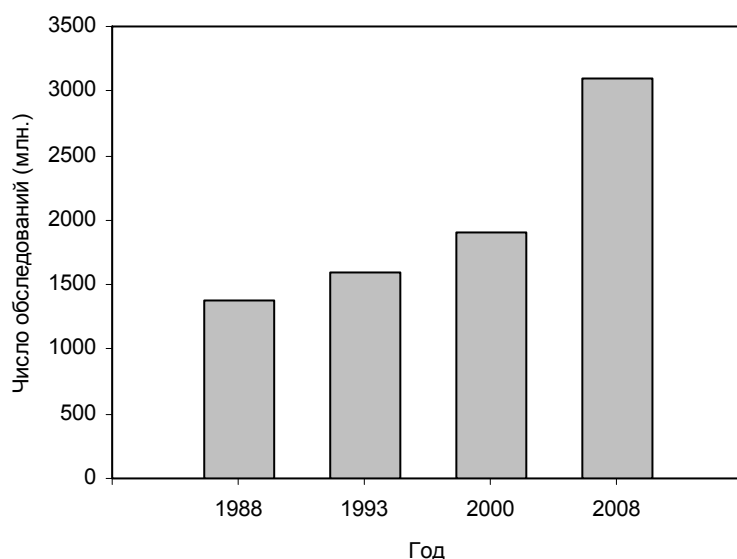


РИС. F-4. Всемирная тенденция в радиологических рентгенографических обследованиях (официальные данные НКДАР ООН, 2008 год)

Г. Окружающая среда

Г.1. Ядерные методы для количественного определения стока подземных вод в море²⁵

110. Вода течет с материка в море как по рекам, так и по водоносным горизонтам. Когда водоносные горизонты пересекаются с береговой линией, они сбрасывают пресную воду в океан. Оценки подводного стока подземных вод в море (ПСПВМ) существенно колеблются от 6% до 100% поступлений пресной воды в прибрежные воды, в значительной степени из-за региональной и временной изменчивости ПСПВМ. В последнее время в области управления прибрежными зонами стало уделяться значительное внимание ПСПВМ ввиду его потенциала, как ресурса пресной воды в тех районах, где ощущается ее дефицит. Кроме того, если ПСПВМ состоит из солоноватой воды, то ее можно использовать на опреснительных установках. С другой стороны, ПСПВМ может содержать также высокие уровни загрязнителей (питательные вещества, металлы, пестициды), оказывая таким образом воздействие на прибрежные экосистемы. Это может привести к вспышкам вредоносного цветения водорослей и загрязнению прибрежных зон. Наконец, в качестве инструментального средства управления,

²⁵ Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) или на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>.

знание объема подводного стока подземных вод в море помогает предотвратить чрезмерную эксплуатацию прибрежных водоносных горизонтов и не допустить вторжения соленой воды.



РИС. G-1. Описание концепции стока подземных вод в море. Гидравлический уклон обуславливает сток пресной воды в море. Рециркуляция морской воды под воздействием, например, приливов способствует ПСПВМ.

111. Были разработаны методы измерения радия и радона с целью обнаружения и количественного определения ПСПВМ в прибрежных зонах²⁶; содержание обоих радионуклидов в ПСПВМ выше по сравнению с морской водой. Источники ПСПВМ могут быть обнаружены путем измерения пространственного распределения радия и радона в прибрежных водах. Временные изменения в их концентрациях, обусловленные, главным образом, смешиванием ПСПВМ с морской водой под воздействием приливов, позволяют определить объем ПСПВМ. Кроме того, определение четырех изотопов радия (радия-223, радия-224, радия-226 и радия-228) помогает понять временные масштабы рассеяния и смешивания ПСПВМ в прибрежных водах. С учетом легкости применения радона и радия в качестве радиоиндикаторов ПСПВМ, их использование в прибрежных зонах, как ожидается, расширится под давлением защитников окружающей среды.

G.2. Понимание процесса круговорота углерода: применение ядерных методов для оценки потоков осаждения частиц с поверхности на дно океана

112. Фундаментальным и важнейшим вопросом морской биогеохимии является понимание механизмов, которые контролируют и усиливают поток материала с поверхности в глубины или на дно океана. Океан является основным поглотителем углерода и улавливание все возрастающих количеств CO_2 провоцирует его окисление. "Погружающиеся частицы"

²⁶ См. также *Nuclear and Isotopic Techniques for the Characterization of Submarine Groundwater Discharge in Coastal Zones* (IAEA-TECDOC-1595, 2008).

представляют собой основной механизм удаления углерода и других элементов, а также загрязнителей из верхних слоев океана. Это включает атмосферный углерод, который преобразуется из CO_2 в биомассу и изолируется в глубинных водах посредством погружения частиц, загрязнителей и радиоактивных элементов. Путем анализа взвесей твердых частиц из различных глубин океана можно оценить различные факторы, контролирующие перенос углерода с поверхности в глубинные воды океана.

113. Эти погружающиеся частицы являются основным механизмом переноса углерода с поверхности на дно океана. При осаждении этих частиц на дно океана содержащийся в них органический углерод реминерализуется в неорганическую форму, которая гораздо легче высвобождается и перераспределяется в водах океана на различных глубинах. Степень этого перераспределения определяет количество CO_2 , которое океан может поглотить из атмосферы. Природный радионуклид тория-234 в последние годы все шире использовался для количественного определения потоков частиц и переноса углерода из верхних слоев океана, как в районах открытого океана, так и в прибрежных морских средах. Торий-234 является частицей химически активного изотопа, который образуется в морской воде в результате радиоактивного распада растворенного устойчивого материнского радионуклида уран-238. Нарушение равновесия между ураном-238 и измеренной общей активностью тория-234 отражает чистый коэффициент переноса частиц с поверхности океана в масштабах времени от дней до недель.

114. Этот метод был недавно применен в рамках международного проекта в прибрежных зонах Северного Ледовитого океана для оценки воздействия таяния вечной мерзлоты в результате потепления климата, а также связанного с этим увеличения оттока органического материала через реки от берега в открытые воды.



РИС. G-2. Установка насоса большого объема для сбора материала в виде частиц, используемого с целью измерения радионуклидов в арктических водах.

Н. Водные ресурсы

115. В подготовленном ООН третьем Докладе о состоянии водных ресурсов мира²⁷ и на 5-м Всемирном форуме по водным ресурсам, состоявшемся в Стамбуле в 2009 году, было обращено особое внимание на важнейшие области, связанные с водными ресурсами в меняющемся мире. Являясь критическим фактором, оказывающим воздействие на устойчивость человеческого общества и экосистем, угрозы водным ресурсам, возникающие в результате изменения климата, растущие затраты на продовольствие и энергию и глобальный экономический кризис делают решение водных проблем все более неотложной задачей.

116. Поэтому расширение сотрудничества учреждений во всем мире имеет первостепенное значение для рассмотрения связей между водными ресурсами и другими факторами. Агентство рассматривает эти связи в рамках своей программы по водным ресурсам. Изотопная гидрология является уникальным инструментальным средством для решения сложных проблем, связанных с водными ресурсами, и помогает руководителям и лицам, ответственным за разработку политики, понять тесную связь между энергией и производством пищевых продуктов с одной стороны, и использованием водных ресурсов с другой. Производство как продовольствия, так и энергии оказывает большое воздействие на устойчивость водных ресурсов, а наличие водных ресурсов, в свою очередь, будет оказывать большое воздействие на эффективность удовлетворения растущих потребностей в продовольствии и энергии. Многочисленные факторы оказывают воздействие на водные ресурсы так же, как и водные ресурсы или их отсутствие оказывают воздействие на эти факторы, и связи между водными ресурсами и политическими, экономическими, социальными и экологическими факторами и проблемами, показанные на рисунке Н-1, свидетельствуют о необходимости комплексного управления водными ресурсами и интегрированного планирования.

117. Слишком часто отсутствие понимания гидрологических систем и круговорота воды на местном и национальном уровнях препятствует эффективному и устойчивому управлению водными ресурсами. Применение ядерных методов, в форме изотопной гидрологии, помогает устранять эти недостатки и может быть гораздо более эффективным средством для получения важнейшей информации, чем использование традиционных подходов к гидрологическому мониторингу.

118. Применение изотопных методов для оценки водных ресурсов становится все более доступным благодаря расширению использования недавно разработанных лазерных спектроскопических анализаторов для измерения изотопов в воде. МАГАТЭ играет существенную роль в оценке показателей применения этой технологии и в настоящее время оказывает государствам-членам помощь в приобретении анализаторов, а также в подготовке технических специалистов. Эти приборы дешевле и более удобны в применении, чем изотопные масс-спектрометры, которые обычно использовались с 1940-х годов. Поэтому применение этой технологии позволяет все возрастающему числу экспертов и групп специалистов по водным ресурсам получить доступ к изотопным приборам для оценки водных ресурсов. Использование этой лазерной технологии, как ожидается, экспоненциально расширится в течение следующего десятилетия.

²⁷ Третий доклад о состоянии водных ресурсов мира (ЮНЕСКО, 2009 год)
<http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/index.shtml>

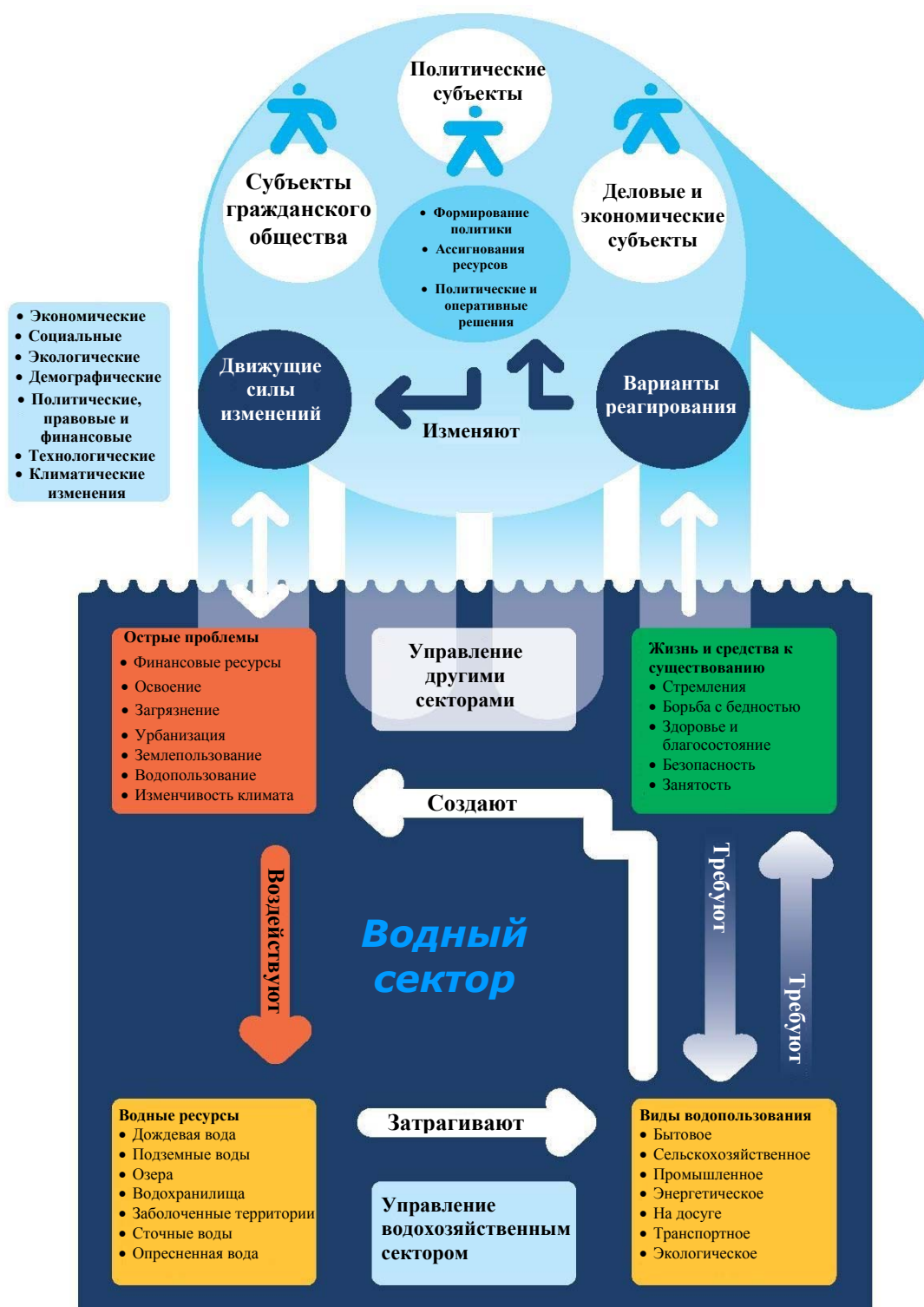


РИС. Н-1. Социальные, политические и экономические элементы и процессы, которые влияют на устойчивость водных ресурсов (Источник: третий Доклад ООН о состоянии водных ресурсов мира, 2009 год).

Н.1. Анализ фактов до принятия мер

119. Среди основных посланий на 5-м Всемирном форуме по водным ресурсам в рамках его темы "Объединение ради воды" была подчеркнута идея "анализа фактов до принятия мер" (т.е. необходимость достижения сначала надлежащего понимания того, как функционирует конкретная гидрологическая система с целью более позднего принятия правильных мер управления). Для адаптации или смягчения воздействий изменения климата представляется важным достигнуть сначала понимания состояния и функционирования конкретных водных ресурсов в современных условиях. На 5-м Всемирном форуме по водным ресурсам²⁸ были выработаны три главные рекомендации, которые имеют отношение к применению ядерных технологий:

- ✓ улучшение понимания воздействий глобальных изменений на водные ресурсы, природные гидрологические процессы и экосистемы;
- ✓ требуется разработка, осуществление и совершенствование межнациональных, национальных и/или субнациональных планов и программ с целью прогнозирования и преодоления возможных воздействий глобальных изменений;
- ✓ необходимо активизировать поддержку научных исследований в области устойчивого использования водных ресурсов и управления ими и следует содействовать развитию сотрудничества между международными учреждениями.

Н.2. Использование стабильных изотопов для понимания наличия и качества подземных вод

120. Методы стабильных изотопов все шире используются для понимания пространственного распространения различных процессов, которые воздействуют на наличие и качество подземных вод, как на местном, так и на глобальном уровнях. Использование этого подхода иллюстрирует рисунок Н-2, где на карте содержания кислорода-18 в подземных водах в районе Лос Наранхос в Мексике показана важность пополнения запасов высокого горизонта подземных вод в северо-западной части исследуемого района (синий цвет) и воздействий просачивания поверхностных вод в более низкие горизонты в остальной части этого района (красный и оранжевый цвета). Такая информация служит важной основой для оценки воздействия изменения климата и других факторов на местные ресурсы подземных вод.

²⁸ См. <http://www.worldwaterforum5.org/>

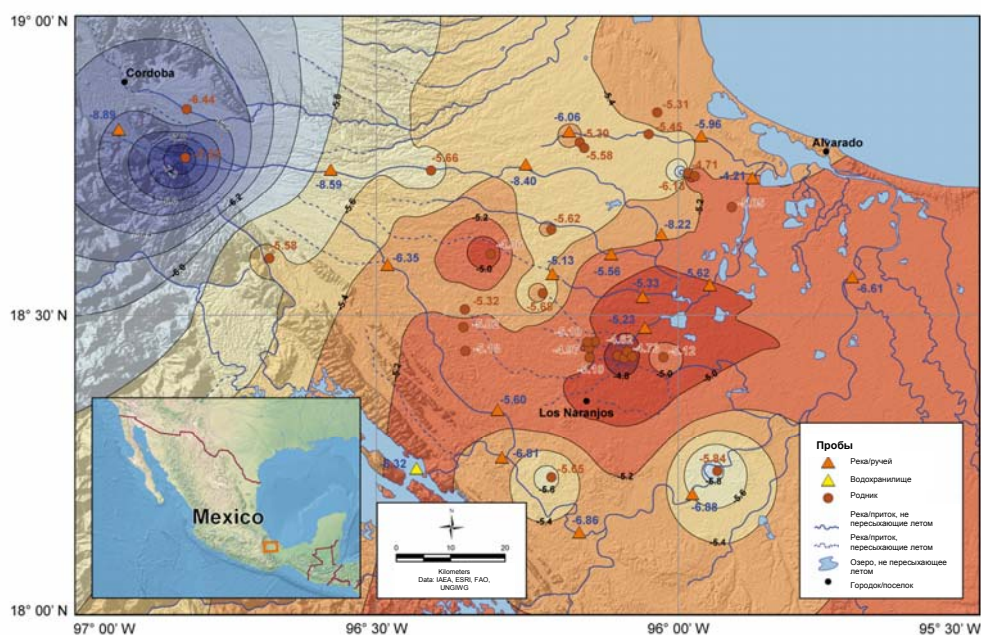


РИС. Н-2. Интерполяция значений содержания кислорода-18 в подземных водах в районе Лос Наранхос в Мексике. Более высокие отрицательные изотопные значения (синий цвет в верхнем левом углу) указывают на пополнение запасов подземных вод высокого горизонта. Красный и оранжевый цвета указывают на пополнение запасов и смешивание подземных вод низкого горизонта.

121. Применение изотопной гидрологии помогает улучшать оценку водных ресурсов, а также играет важную роль в энергетическом планировании. Сообща, участвующие в программе Агентства по водным ресурсам сотрудники Секции рационального использования почв, воды и питания растений Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам в продовольственной и сельскохозяйственной областях, а также Секции планирования и экономических исследований Департамента ядерной энергии сотрудничают в разработке инициативы, связанной с планированием действий в области климата, земельных, энергетических и водных ресурсов (КЗЭВ). В случае успешной разработки этого подхода он будет использоваться для оказания государствам-членам помощи в проведении оценки комплексных воздействий широкого диапазона вопросов, включающих экономические, социальные, экологические, демографические, политические, юридические, финансовые, технологические и климатические изменения. Планирование действий в области КЗЭВ будет способствовать также сотрудничеству между различными правительственными министерствами и учреждениями с целью разработки комплексных решений для устойчивого развития водных и энергетических ресурсов.

I. Производство радиоизотопов и радиационная технология

I.1. Радиоизотопы и радиофармацевтические препараты

I.1.1. Радиоизотопная продукция и ее наличие

122. Вследствие серьезной проблемы, связанной с дефицитом поставок медицинских изотопов, в особенности производимого реакцией деления молибдена-99, в 2009 году в центре мирового внимания оказался устойчиво растущий спрос на радиоизотопы для медицинских и промышленных применений, а также достижения в разработке соответствующих технологий. Произведенные в реакторе радиоизотопы остаются основными продуктами медицинского и промышленного назначения, но одновременно с этим производственные мощности циклотронов также продолжают увеличиваться, главным образом благодаря созданию региональных центров, занимающихся производством радиоизотопов с очень короткими периодами полураспада для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Эти и другие последние достижения в разработке радиофармацевтических препаратов нашли свое отражение в проведении в 2009 году трех крупных международных мероприятий²⁹.

123. О растущем интересе к использованию ПЭТ и ПЭТ/КТ (компьютерной томографии) свидетельствует число построенных циклотронов, предназначенных исключительно для производства ПЭТ-радиоиндикаторов. Согласно оценке, в настоящее время в мире насчитывается приблизительно 650 действующих циклотронов и 2200 ПЭТ-систем. В клинических применениях по-прежнему доминируют хорошо отработанные методы использования меченой фтором-18 фтордезоксиглюкозы (ФДГ) для лечения раковых больных, но при этом отмечается также повышение внимания к проблемам и потребностям в разработке и использовании других радиофармпрепаратов для ПЭТ. Улучшение ситуации с наличием генераторов германия-68/галлия-68 и растущее число ПЭТ-центров стимулировали разработку радиофармпрепаратов на основе галлия-68, включая соответствующие автоматизированные модули синтеза. Идея использования относительно более долгоживущих ПЭТ-радиоизотопов для определенных исследований биологических процессов и распределения в течение более длительных периодов времени привела к тому, что многие центры стали изучать возможное производство таких ПЭТ-радиоиндикаторов, например меди-64 и йода-124, используя свободное время эксплуатации имеющихся медицинских циклотронов. Другая причина проявления интереса к этой продукции – это их роль в качестве точных инструментов, обеспечивающих получение дозиметрических данных для терапевтических процедур, в которых используются аналогичные терапевтические радиоизотопы.

²⁹ Ежегодные совещания Общества ядерной медицины в Торонто, Канада, и Европейской ассоциации ядерной медицины в Барселоне, Испания; организуемый раз в два года Международный симпозиум по радиофармацевтическим наукам в Эдмонтоне, Канада.

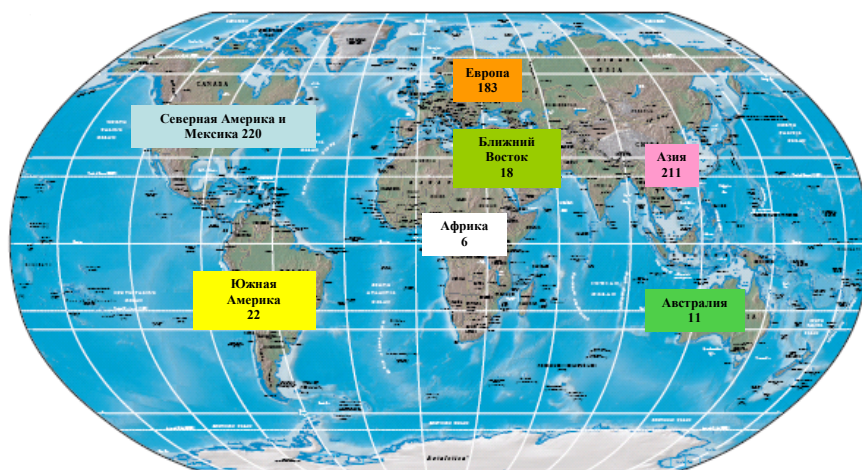


РИС. I-1. Наличие в мире циклотронов для производства ПЭТ-радиоиндикаторов (источник: д-р Д. Шлайер, Брукхейвенская национальная лаборатория, США; на основе данных четырех основных изготовителей циклотронов)

124. Прогресс в применении методов радионуклидной терапии, например, лечения нейроэндокринных опухолей с использованием пептидов, меченных лютецием-177 или иттрием-90, привел к разработке автоматизированных модулей синтеза и устройств экранирования для подготовки в малых масштабах на месте терапевтических радиофармацевтических препаратов, которая требует обращения с относительно более значительными количествами радиоизотопов, а также их ПЭТ-изотопов для дозиметрических исследований. Аналогичным образом интерес к использованию альфа-излучающих радиоизотопов в терапии рака привел к дальнейшему улучшению методов производства короткоживущих альфа-излучателей, таких как висмут-213.

I.1.2. Надежность поставок молибдена-99³⁰

125. Острый дефицит в обеспечении поставок производимого реакцией деления молибдена-99 и генераторов технеция-99m в большинстве районов мира продолжал оказывать отрицательное воздействие на медицинские диагностические применения. В связи с необходимым обслуживанием и модернизацией высокопоточный реактор в Петтене, Нидерланды, с февраля 2010 года был остановлен, и ожидается, что он будет перезапущен в августе 2010 года. Кроме того, в мае 2009 года для выполнения масштабных ремонтных работ из-за появившихся утечек был остановлен национальный исследовательский универсальный реактор в Канаде, и предполагается, что его эксплуатация, по меньшей мере, до конца июля 2010 года возобновлена не будет.

126. Чтобы частично компенсировать образовавшийся дефицит, в максимально возможной степени было увеличено производство на реакторе BR2 в Моле, Бельгия, и на реакторе Safari-1 в Южной Африке. На установке по производству изотопов "Ковидьен" в Петтене, Нидерланды, в целях облучения существующих ВОУ мишеней для производства молибдена-99, с тем чтобы увеличить поставки молибдена-99, используется реактор MARIA в Польше. Аналогичным образом производственная установка Института радиоэлементов во Флёрюсе, Бельгия, для

³⁰ Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html>) или на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html>.

облучения ВОУ мишеней использует реактор в Ржеже, Чешская Республика. Австралийская организация по ядерной науке и технике (АНСТО) завершила ввод в эксплуатацию в горячем режиме своей новой производственной установки, в которой используется облучение мишеней из НОУ в Австралийском легководном исследовательском реакторе бассейнового типа (OPAL), и она получила от регулирующего органа одобрение начала регулярного массового производства, что позволит ему производить продукцию на экспорт, за счет которого будет удовлетворяться приблизительно 10% мирового спроса. Еще на одной производственной установке, работающей с НОУ, которая была сооружена в Египте (на базе аргентинской технологии) рядом с реактором ETRR-2, к завершению близятся технические рассмотрения, требуемые регулирующим органом, и к середине 2010 года предполагается получить разрешение начать ввод в эксплуатацию в горячем режиме.

127. Различные заинтересованные стороны, включая профессиональные медицинские организации, выступили с призывами развивать международное сотрудничество и обеспечить правительственную поддержку. По просьбе правительства Канады АЯЭ ОЭСР создало Группу высокого уровня по надежности поставок медицинских радиоизотопов (HLG-MR)³¹ для решения соответствующих вопросов с целью повышения надежности поставок молибдена-99³². Кроме того, Ассоциация производителей и поставщиков оборудования для диагностической визуализации (АИПЕС) стала играть более активную роль в координации и распространении информации, касающейся графиков эксплуатации и периодов останова реакторов. В этой связи оказываемая Агентством поддержка в развитии коалиций исследовательских реакторов способствовала формированию предпринимательской инициативы, охватывающей четыре реактора в Центральной Азии и Европе и одну установку для обработки в Венгрии. Канадское правительство сформировало группу из четырех экспертов для выработки рекомендаций по мерам обеспечения надежного снабжения радиоизотопами для медицинского применения, и доклад этой группы был выпущен в декабре 2009 года³³.

1.2. Применение радиационных технологий

1.2.1. Электронно-пучковая стерилизация асептических упаковочных материалов и контейнеров

128. Гамма-излучение использовалось в качестве безопасного и экономически эффективного метода стерилизации одноразовых медицинских изделий, компонентов и упаковок в течение более чем 50 лет. Электронные пучки (ЭП) стали использоваться для стерилизации приблизительно 30 лет назад, когда появились ускорители электронов с повышенными КПД и надежностью, и в настоящее время этот метод выбирается для обработки большого объема низкостоймостной продукции (например, шприцев), а также малых количеств высокостоймостных изделий (например, сердечно-сосудистых устройств).

129. Недавно стала доступной новая электронно-пучковая методология, разработанная в США, которая обеспечивает альтернативный вариант стерилизации или санитарной обработки асептических упаковочных материалов и контейнеров без применения химикатов. Асептические упаковки фруктовых соков, молочных и других напитков относятся к сегментам максимального роста в производстве пищевых продуктов, и поэтому к альтернативным

³¹ <http://www.nea.fr/html/ndd/med-radio/>

³² Агентство представлено в HLG-MR в качестве наблюдателя.

³³ См. <http://nrcan.gc.ca/eneene/sources/uranuc/pdf/panrep-rapexp-eng.pdf>

технологиям стерилизации упаковок, которые сводят к минимуму потребление энергии и воды при обеспечении требуемого качества, проявляется значительный интерес. В настоящее время в мире установлено или находится в стадии строительства 27 ЭП-установок такого типа. Самое новое направление в этой области – это использование низкоэнергетических ЭП-излучателей, предназначенных для стерилизации внутренних поверхностей емкостей для напитков (см. рисунок I-2). ЭП-излучатели можно объединять и конфигурировать разным образом, приспособив к производственной линии для стерилизации емкостей, крышек, мешков и пакетов. В зависимости от выбранной конфигурации обработку внутренних и внешних поверхностей отдельно или одновременно можно производить в течение нескольких секунд. Таким образом устраняются высокотемпературная обработка и использование химикатов, а также промывка после химической обработки, что позволяет экономить энергию и воду, снизить себестоимость продукции и упростить материально-техническое обеспечение.



РИС. I-2. Электронно-пучковый излучатель для стерилизации внутренних поверхностей емкости для напитков (<http://www.aeb.com/>).

I.2.2. Радиационный синтез наноструктур на углеродной основе

130. Наноструктуры на углеродной основе, такие как углеродные нанотрубки, открыли широчайшие возможности в применении нанотехнологий, особенно при переходе от кремниевой микроэлектроники к наноразмерам. Электронно-пучковые методы уникальным образом подходят для выполнения таких задач, как сварка углеродных нанотрубок, создание электронно-пучковой литографией структур с углеродными нанотрубками, синтез металлических проводов, заключенных в нанотрубки, и канализирование ионов для потенциальных применений в системах доставки лекарственных средств и электронной промышленности. В прошлом году группа исследователей из Японии и Китая сообщила, что, фокусируя электронный пучок с энергией 120 кэВ на графитовых нанохлопьях, можно трансформировать их в графен и далее в графеновую наноленту. Длительное облучение в конечном счете приводит к образованию одиночной углеродной нити, которая может служить идеальным молекулярным проводом. Таким образом, электронно-пучковая технология

помогает изготавливать большинство наноструктур на углеродной основе, которые характеризуются большим потенциалом использования в качестве конечных базовых элементов молекулярных устройств для применения в медицине и электронике.

131. Для развития взаимодействия между исследовательскими группами, содействия передаче научных решений промышленности и продукции конечным пользователям³⁴ был образован EUMINAfab – консорциум Европейских предприятий, университетов и национальных лабораторий, работающих в сфере микро- и нанотехнологий. Этот консорциум объединяет технологии, установки и экспертные ресурсы и предлагает бесплатный доступ к 36 установкам с необходимым техническим персоналом в таких областях, как формирование микро- и нанорисунков, осаждение, репликация и характеристика тонких пленок.

³⁴ Аналогичная тема была также охвачена мероприятием Агентства, проведенным в Румынии “Тенденции развития нанонауки: теория, эксперименты, технология”, во время которого была показана роль радиационных методов в нанотехнологии. Это мероприятие было организовано совместно Международным центром теоретической физики им. Абдуса Салама (МЦТФ), МАГАТЭ и Национальным институтом физики и ядерной техники им. Хории Хулубея.