

Генеральная конференция

GC(52)/INF/3

Date: 16 July 2008

General Distribution

Russian

Original: English

Пятьдесят вторая очередная сессия

Пункт 16 предварительной повестки дня
(GC(52)/1)

Обзор ядерных технологий - 2008

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат ежегодно представляет всеобъемлющий *Обзор ядерных технологий*. В приложении к настоящему документу приводится доклад за нынешний год, в котором освещаются заметные события, происшедшие в основном в 2007 году.
- В *Обзоре ядерных технологий - 2008* 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 радиационная технология. Дополнительная документация, связанная с *Обзором ядерных технологий - 2008*, имеется на веб-сайте Агентства¹ на английском языке и касается новых событий и тенденций в областях безопасности пищевых продуктов, методов, основанных на использовании стабильных изотопов, применяемых для разработки и оценки программ питания, эталонных материалов для торговли и развития, усовершенствованных технологий переработки, изменений в КИП и СУЗ реакторов, технологии быстрых реакторов и изменения климата и ядерной науки и технологий.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти также в *Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2007 год* (GC(52)/9), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в *Докладе о техническом сотрудничестве за 2007 год* (GC(52)/INF/5).
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета и другие замечания, полученные от государств-членов.

¹ www.iaea.org/About/Policy/GC/GC52/Agenda/

Содержание

Резюме	1
A. Энергетические применения	3
A.1. Ядерная энергетика сегодня	3
A.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики	5
A.3. Интернационализация промышленности по производству ядерных реакторов	6
A.4. Начальная стадия топливного цикла	7
A.5. Отработавшее топливо и переработка	9
A.6. Отходы и снятие с эксплуатации	10
A.7. Дополнительные факторы, влияющие на будущее ядерной энергетики	11
A.7.1. Устойчивое развитие и изменение климата	11
A.7.2. Экономика	12
A.7.3. Безопасность	12
A.7.4. Развитие кадровых ресурсов	13
B. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	15
B.1. Усовершенствованные ядерные системы	15
B.1.1. ИНПРО и МФП	15
B.1.2. ГПЯЭ	16
B.1.3. Другая деятельность по разработке усовершенствованных ядерных систем	16
B.2. Термоядерный синтез	16
C. Атомные и ядерные данные	18
D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов	19
D.1. Ускорители	19
D.2. Исследовательские реакторы	20
E. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях	21
E.1. Улучшение сельскохозяйственных культур	21
E.2. Совершенствование производства биотоплива	22
E.3. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	23
E.4. Борьба с насекомыми-вредителями	24
E.4.1. Борьба с мухой цеце с помощью МСН	24
E.4.2. Борьба с плодовой мухой с помощью МСН	25
E.4.3. Борьба с молью с помощью МСН	25
E.5. Облучение пищевых продуктов	26
F. Здоровье человека	26
F.1. Индивидуализированный подход к лечению рака с использованием методов ядерной медицины	26
F.2. Радиационная онкология	27
F.3. Питание	28
G. Окружающая среда	29
G.1. Улучшение обнаружения радионуклидов для целей экологической оценки земной среды	29
G.2. Качество результатов измерений	29
G.3. Применение ядерных методов для обеспечения экологической устойчивости морской среды	30
G.3.1. Расширение применений радиоанализа в области безопасности морепродуктов	30
G.3.2. Изменение климата и подкисление океанов	30
H. Водные ресурсы	31
I. Радиационная технология	33
I.1. Производство радиоизотопов	33
I.2. Природные полимеры	33
I.3. Опасные биозагрязнители	34
I.4. Автоматизированное компьютерное отслеживание радиоактивных частиц	34

Обзор ядерных технологий - 2008

Доклад Генерального директора

Резюме

1. В 2007 году появились признаки того, что недавний рост ожиданий в отношении ядерной энергетики начинает претворяться в расширение объемов строительства. Началось сооружение семи энергоблоков, а также были возобновлены активные строительные работы на 2 энергоблоке станции "Уоттс Бар" в США, и общее число сооружаемых реакторов к концу года достигло 33. Энергоблок "Уоттс Бар 2" – это первое активно ведущееся строительство энергоблока в США с 1996 года. В Комиссию по ядерному регулированию (КЯР) США поступили четыре заявления о выдаче комбинированных лицензий (КОЛ) – первые заявления о выдаче лицензий на строительство новых ядерных реакторов в США за последние 30 лет. Начаты также строительные работы на энергоблоке "Фламанвилль 3", и это первое строительство энергоблока, начатое во Франции с 1991 года.
2. Однако расширение мощностей в настоящее время, а также ближайшие и долгосрочные перспективы роста по-прежнему характерны главным образом для Азии. Из 33 строящихся реакторов 19 расположены в Азии. К концу года 28 из введенных в последнее время в эксплуатацию 39 реакторов были подключены к энергосетям в Азии.
3. В 2007 году Агентство пересмотрело свои среднесрочные прогнозы глобального развития ядерной энергетики в сторону увеличения нижней и верхней цифр прогноза на 2030 год соответственно до 447 ГВт (эл.) и 691 ГВт (эл.). Другие организации, например, Международное энергетическое агентство (МЭА) ОЭСР, также пересмотрели свои прогнозы в сторону повышения.
4. Объявленные ресурсы урана значительно возросли по сравнению с данными, приведенными в последнем выпуске Красной книги *"Уран-2005: ресурсы, производство и спрос"*, главным образом вследствие сообщений об увеличении ресурсов Австралией, Российской Федерацией, Украиной и Южной Африкой. Рыночная спот-цена урана достигла почти 360 долл./кг в июне и затем снизилась до 240 долл./кг в декабре.
5. Начато строительство на новой американской центрифужной установке компании "USEC", а компания "Japan Nuclear Fuel Limited" (JNFL) начала каскадные испытания на своем заводе по обогащению урана с усовершенствованными центрифугами в Роккасё. Казахстан и Российская Федерация создали в Восточной Сибири Международный центр по обогащению урана в качестве одного из этапов реализации выдвинутого в 2006 году президентом Владимиром Путиным предложения о создании системы международных центров по предоставлению услуг ядерного топливного цикла, включая обогащение, под контролем МАГАТЭ и на основе недискриминационного доступа.
6. Девятнадцать стран подписали заявление о принципах Глобального партнерства в области ядерной энергии (ГПЯЭ), ставящего целью ускорить развитие и развертывание передовых технологий топливного цикла, с тем чтобы содействовать развитию, улучшить окружающую среду и сократить риск ядерного распространения.

7. КЯР одобрила передачу большей части площадки АЭС "Биг Рок Пойнт" и большей части площадки АЭС "Янки Роу" для неограниченного общественного использования. Таким образом, десять АЭС во всем мире были полностью выведены из эксплуатации, а их площадки были переданы для использования без ограничений. Семнадцать станций были частично демонтированы и безопасно законсервированы. Тридцать две демонтируются перед конечной передачей площадки в пользование, и тридцать четыре реактора находятся в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией. В сентябре Агентство начало эксплуатацию новой Сети образцово-показательных центров для снятия с эксплуатации, улучшающей распространение знаний и опыта среди специалистов, занимающихся снятием с эксплуатации, и помогающей организациям в развитых государствах-членах вносить свой вклад в деятельность государств-членов, нуждающихся в помощи в вопросах снятия с эксплуатации.

8. Ядерные и изотопные методы по-прежнему играют важную роль в областях сельского хозяйства, здоровья человека, морской и земной сред, а также в управлении водными ресурсами. В продовольственной и сельскохозяйственной областях мутационная селекция растений оказывает поддержку выведению новых сортов сельскохозяйственных культур, которые отличаются повышенной урожайностью, а также обеспечивают значительные экологические выгоды благодаря снижению потребности в удобрениях и повышенной устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. Генетическое совершенствование сельскохозяйственных культур – источников биомассы дает полезные результаты в плане реагирования на возрастающие потребности в биотопливе. В дополнение к продолжающемуся использованию облучения для санитарных целей расширяется использование облучения для фитосанитарных применений, особенно применений, связанных с карантинными мерами.

9. В области здравоохранения достижения в использовании позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) позволяют переосмыслить многие аспекты лечения рака и создают основу более индивидуализированного и более успешного лечения. Недавнее усовершенствование источников с высокой мощностью дозы (ВМД) на кобальте-60 может позволить проводить современные процедуры брахитерапии ВМД с менее частой заменой источников, чем это необходимо в случае других источников, и повысить экономическую эффективность радиотерапии. Методы, основанные на использовании стабильных изотопов, используются для разработки и оценки стратегий борьбы с дефицитом питательных микроэлементов в рамках усилий, направленных на совершенствование питания.

10. Ядерные аналитические методы используются для оценки качества и пригодности товаров в торговле. Качество результатов измерений необходимо обеспечивать путем наличия инфраструктуры и инструментальных средств, таких, как соответствующие эталонные материалы.

11. Климатические исследования во все большей степени сосредотачиваются на взаимосвязях между климатом и морской и земной средами. Распространенные в морской среде изотопы позволяют нам понять важнейшие связанные с переменной климата изменения, такие, как растущее подкисление океанов, а также потенциальные последствия для морского биоразнообразия и рыболовства. Усиливающееся воздействие изменения климата на режимы распределения осадков и наличие ресурсов пресной воды делает подземные воды все более критически важным ресурсом. Изотопные данные становятся все более важным источником комплексных временных и пространственных данных в поддержку оценки и рационального использования подземных вод без значительных инвестиций времени и ресурсов.

12. Радиационная обработка природных полимеров является перспективной областью, поскольку уникальные характеристики полимерных материалов могут быть использованы для практических применений в медицине, косметике, сельском хозяйстве, биотехнологии и охране окружающей среды. В еще одной важной области, результаты новейших исследований показали полезность применения ионизирующих излучений для решения проблем, связанных с такими угрозами, как преднамеренное распространение биологических токсинов.

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

13. В конце 2007 года во всем мире в эксплуатации находились 439 ядерных энергетических реакторов суммарной мощностью 372 ГВт (эл.) (см. Таблицу А-1). В 2007 году ядерная энергетика обеспечивала около 15% объема производимой во всем мире электроэнергии.

14. В 2007 году к энергосетям были подключены три новых реактора, по одному в Индии, Китае и Румынии, и один блок был выведен из стояночного режима и подключен к сети в США. Для сравнения, в 2006 году было произведено два новых подключения, а в 2005 году – четыре (плюс один блок, выведенный из стояночного режима и вновь подключенный к сети). В 2007 году ни один реактор не был выведен из эксплуатации, по сравнению с восемью в 2006 году и двумя в 2005 году. С учетом повышения мощности существующих реакторов, в итоге глобальная установленная мощность АЭС в течение 2007 года возросла на 2526 МВт (эл.).

15. В 2007 году было начато сооружение семи энергоблоков: "Циньшань II-4" (610 МВт (эл.)) и "Хуняньхэ 1" (мощностью 1000 МВт (эл.)) в Китае, "Фламанвиль 3" во Франции (1600 МВт (эл.)), "Северодвинск – Академик Ломоносов 1 и 2" (2×30 МВт (эл.)) в Российской Федерации и "Шин Кори 2" (960 МВт (эл.)) и "Шин Волсон 1" (960 МВт (эл.)) в Республике Корея. Кроме того, возобновилось активное строительство энергоблока "Уоттс Бар 2" в США. Для сравнения, в 2006 году было начато строительство трех реакторов, плюс возобновлено строительство одного, а в 2005 году было начато строительство трех реакторов, плюс возобновлено строительство двух реакторов.

16. Расширение мощностей в настоящее время, а также ближайшие и долгосрочные перспективы роста по-прежнему характерны главным образом для Азии. Как показано в Таблице А-1, из 33 сооружаемых реакторов 19 находились в Азии. К концу года 28 из введенных в последнее время в эксплуатацию 39 реакторов были подключены к энергосетям в Азии.

17. В Соединенных Штатах Америки Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) одобрила продление одной лицензии на 20 лет (таким образом, общий предусмотренный лицензией срок эксплуатации составит 60 лет), и в результате общее количество одобренных продлений лицензий насчитывало 48. Лицензия на эксплуатацию энергоблока "Жантийи 2" в Канаде была продлена еще на четыре года, до 2010 года. Лицензии для энергоблоков "Ловийса 1 и 2" в Финляндии были продлены соответственно до 2027 и 2030 годов включительно.

18. В Болгарии была одобрена площадка в Белене для строительства новой АЭС. Три прибалтийских государства и Польша достигли принципиальной договоренности о строительстве АЭС в Литве к 2015 году, и Литвой принято необходимое законодательство, делающее такое строительство возможным. Турция также приняла новое законодательство, позволяющее ей заниматься строительством АЭС.

Таблица А-1. Ядерные энергетические реакторы в эксплуатации и в стадии сооружения в мире (по состоянию на 31 декабря 2007 года)^а

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии сооружения		Электроэнергия АЭС, поставленная в 2007 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2007 года	
	Число энерго-блоков	Всего МВт (эл.)	Число энерго-блоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·час	% от общего произ-водства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	6,7	6,2	58	7
АРМЕНИЯ	1	376			2,4	43,5	33	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 824			45,9	54,1	219	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	13,7	32,1	143	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 795			11,7	2,8	33	3
ВЕНГРИЯ	4	1 829			13,9	36,8	90	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 430			133,21	25,9	717	5
ИНДИЯ	17	3 782	6	2 910	15,9	2,5	284	4
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА			1	915				
ИСПАНИЯ	8	7 450			52,7	17,4	253	6
КАНАДА	18	12 610			88,2	14,7	546	1
КИТАЙ	11	8 572	5	4 220	59,3	1,9	77	3
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	20	17 451	3	2 880	136,6	35,3	299	8
ЛИТВА	1	1 185			9,1	64,4	41	6
МЕКСИКА	2	1 360			10,0	4,6	31	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			4,0	4,1	63	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	2,3	2,3	43	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	6	3 639	148,0	16,0	932	4
РУМЫНИЯ	2	1 305			7,1	13,0	11	11
СЛОВАКИЯ	5	2 034			14,2	54,3	123	7
СЛОВЕНИЯ	1	666			5,4	41,6	26	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	19	10 222			57,5	15,1	1 419	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	100 582	1	1 165	806,6	19,4	3 291	9
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	87,2	48,1	338	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 696	1	1 600	22,5	28,9	115	4
ФРАНЦИЯ	59	63 260	1	1 600	420,1	76,9	1 582	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 619			24,6	30,3	98	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			26,5	40,0	163	10
ШВЕЦИЯ	10	9 034			64,3	46,1	352	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			12,6	5,5	46	3
ЯПОНИЯ	55	47 587	1	866	267,3	27,5	1 331	8
Всего ^{б, с}	439	372 208	33	27 193	2 608,1	15%	13 036	5

а. Данные – заимствованы из Информационной системы МАГАТЭ по энергетическим реакторам (<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>)

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

- 6 энергоблоков - 4921 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока - 2600 МВт (эл.) в стадии строительства;
- 39,0 ТВт·час выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 19,3% суммарной электроэнергии, произведенной в 2007 году;
- 158 лет и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации в конце 2007 года.

с. Суммарный опыт эксплуатации включает также данные по остановленным станциям в Италии (81 год) и Казахстане (25 лет, 10 месяцев).

19. В Финляндии компания "Фортум" представила программу оценки воздействия на окружающую среду ОВОС возможного строительства нового реактора на АЭС "Ловийса", а энергопредприятие "Teollisuuden Voima Oy" (TVO) представило программу ОВОС для возможного нового реактора на АЭС "Олкилуото". В Канаде, "Energy Alberta" подала заявку на выдачу лицензии для новой АЭС на северо-западе провинции Альберта. Большую часть производимой на этой АЭС энергии предполагается использовать для экстракции нефти из местных битуминозных песков.

20. В США КЯР выдала первые три первоначальных разрешения для площадки (ППП), сертифицировав площадку Клинтон в шт. Иллинойс, площадку Грэнд Галф в шт. Миссисипи и площадку Норт Энна в шт. Вирджиния как пригодные для нового строительства. В настоящее время она рассматривает еще два ППП. Также в 2007 году КЯР получила четыре заявки на комбинированные лицензии (КОЛ) - первые заявки на новые ядерные реакторы в США за последние почти 30 лет. Как ожидает КЯР, до конца 2009 года поступит в общей сложности 21 такая заявка на строительство 32 реакторов.

21. В Соединенном Королевстве правительство в 2007 году завершило консультации с общественностью по вопросам ядерной энергии и потенциального нового строительства. В январе 2008 года оно опубликовало Белую книгу "Решение энергетической проблемы" (Meeting the Energy Challenge), где подчеркивается, что интересам общественности отвечает сохранение ядерной энергетики в качестве одной из составляющих структуры энергопроизводства Соединенного Королевства с низкими выбросами углерода в целях содействия достижению показателей снижения выбросов углерода и обеспечения надежности энергоснабжения. На начальном этапе общей оценки проектов (ООП) новых ядерных реакторов регулирующие органы СК определили, что все четыре проекта, представленных компаниями "Atomic Energy of Canada Limited", AREVA, "GE-Hitachi" и "Toshiba-Westinghouse", соответствуют критериям приемлемости для первой стадии процесса, предшествующего лицензированию.

A.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики

22. Ежегодно Агентство обновляет свои низкий и высокий прогнозы глобального роста ядерной энергетики. В 2007 году как низкий, так и высокий прогнозы были пересмотрены в сторону повышения. В обновленном низком прогнозе глобальная мощность и выработка электроэнергии на АЭС достигают соответственно 447 ГВт (эл.) и 3325 ТВт. час в 2030 году, по сравнению с 370 ГВт (эл.) и 2660 ТВт. час в конце 2006 года. В обновленном высоком прогнозе эти показатели достигают 691 ГВт (эл.) и 5141 ТВт. час.

23. В низком прогнозе 145 из нынешнего числа реакторов будут выведены из эксплуатации к 2030 году, и будут построены 178 новых реакторов. Восемьдесят пять процентов выведенных из эксплуатации реакторов будут находиться в Восточной и Западной Европе. Хотя во всех регионах будут строиться новые реакторы, большинство будет построено на Дальнем Востоке и в Восточной Европе, причем существенные, но меньшие объемы нового строительства будут также отмечаться на Ближнем Востоке и в Южной Азии.

24. В высоком прогнозе предполагается вывод из эксплуатации только 82 реакторов, и более чем двукратное увеличение объема нового строительства, т.е. строительство 357 новых реакторов к 2030 году. Большая часть реакторов будет по-прежнему выводиться из

эксплуатации в Европе. Новое строительство будет географически распределено более широко, хотя наиболее интенсивно оно будет происходить на Дальнем Востоке, в Восточной Европе, и на Ближнем Востоке и в Южной Азии.

25. Прогнозы Агентства были не единственными ядерными прогнозами, которые в 2007 году были пересмотрены в сторону повышения. Обновленные прогнозы были также опубликованы в 2007 году Администрацией энергетической информации (АЭИ) США, Международным энергетическим агентством (МЭА) ОЭСР и Всемирной ядерной ассоциацией (ВЯА). Все организации пересмотрели свои ядерные прогнозы в сторону повышения, за исключением одной. ВЯА несколько снизила уровень верхней границы диапазона. На рисунке А-1 приведено сравнение диапазонов ядерных прогнозов 2007 года, опубликованных АЭИ, МЭА, МАГАТЭ и ВЯА.

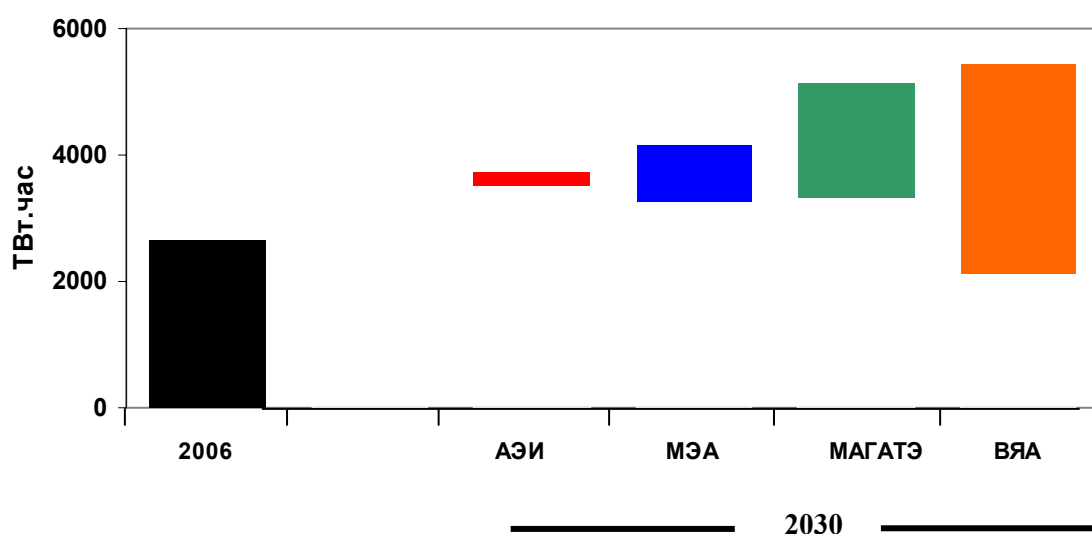


Рис. А-1. Сравнение прогнозов развития ядерной энергетики, опубликованных АЭИ, МЭА, МАГАТЭ и ВЯА.

А.3. Интернационализация промышленности по производству ядерных реакторов

26. Как показано на рисунке А-2, структура промышленности по производству ядерных реакторов в последние десятилетия претерпевала постоянные изменения. Однако растущие ожидания будущего расширения ядерной энергетики внесли свой вклад в несколько крупных событий за прошлые 18 месяцев. К концу 2006 года компания "Toshiba" приобрела мажоритарный пакет акций компании "Westinghouse". Затем в 2007 году она продала 10% этого пакета Казатомпрому, принадлежащей государству компании по производству урана в Казахстане. Кроме того, к концу 2006 года компании "AREVA" и "Mitsubishi Heavy Industries" (МНН) объявили о создании нового союза с целью разработки новой АЭС мощностью 1000 МВт (эл.). Компании "General Electric" (GE) и "Hitachi" также создали союз в 2007 году с целью предоставления услуг находящимся в эксплуатации BWR и успешной конкуренции в борьбе за новые реакторные проекты во всем мире.

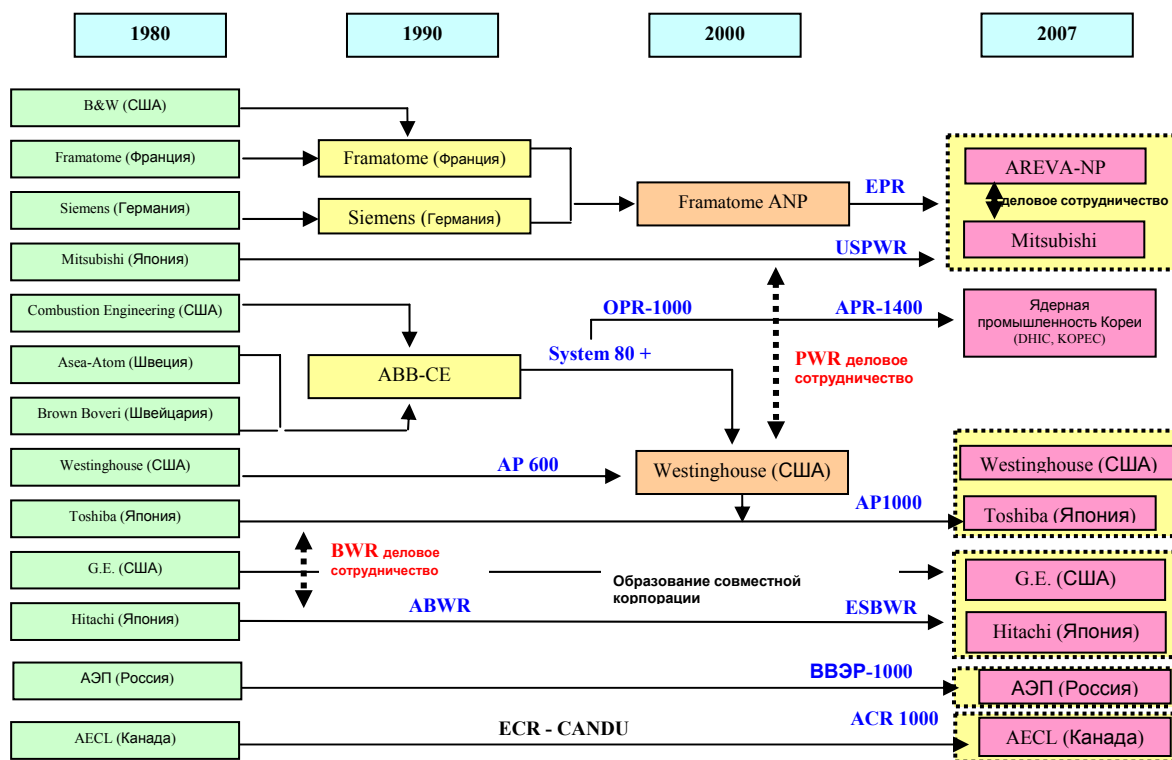


Рис. А-2. Эволюция промышленности по производству ядерных реакторов (AP600/AP1000: усовершенствованный пассивный PWR (600/1000 МВт (эл.)); EPR: европейский реактор с водой под давлением; ABWR: усовершенствованный реактор с кипящей водой; ESBWR: европейский упрощенный кипящий реактор; APR 1400: усовершенствованный энергетический реактор 1400; OPR 1000: оптимизированный энергетический реактор 1000; ACR: усовершенствованный реактор CANDU; ECR: улучшенный реактор CANDU; BBWR-1000: вододводяной энергетический реактор; US APWR: американский усовершенствованный ректор с водой под давлением; DHIC: компания "Doosan Heavy Industry"; АЭП: Атомэнергоспроект)

А.4. Начальная стадия топливного цикла²

27. Установленные традиционные ресурсы урана, которые могут быть извлечены с затратами менее 130 долл./кг U, в настоящее время, согласно оценкам, составляют 5,5 млн. тонн (Мт U). Это - значительное увеличение приблизительно на 800 000 т U по сравнению с 2005 годом, ставшее возможным главным образом благодаря сообщениям о росте ресурсов в Австралии, Российской Федерации, Украине и Южной Африке. Для справки, рыночная спот-цена урана достигла почти 360 долл./кг в июне и затем снизилась до 240 долл./кг в декабре.

28. Необнаруженные традиционные ресурсы, согласно оценкам, составляют 7,3 Мт U при затратах менее 130 долл./кг U. К ним относятся как ресурсы, которые, как ожидается, будут обнаружены в пределах или вблизи известных месторождений, так и более проблематичные ресурсы, которые, как полагают, имеются на геологически перспективных, хотя и не

² Настоящий раздел основывается на "Красной книге" МАГАТЭ-Агентства по ядерной энергии ОЭСР (АЯЭ/ОЭСР) (OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY/INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Uranium -2007: Resources, Production and Demand, OECD, Paris (2008)). Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении начальной стадии топливного цикла содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада МАГАТЭ за 2006 год (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>.

разведанных территориях. Имеются также оценки, свидетельствующие о существовании еще 3,0 Мт U предположительных ресурсов, в отношении которых издержки производства не были определены.

29. *Нетрадиционные ресурсы урана и тория* еще более расширяют ресурсную основу. Нетрадиционные ресурсы – это такие ресурсы, из которых уран может извлекаться только в качестве незначительного побочного продукта. Лишь немного стран в настоящее время сообщают о наличии нетрадиционных ресурсов. Прошлые оценки потенциально извлекаемого урана, связанного с фосфатами, рудами цветных металлов, карбонатитом, черным сланцем и лигнитом, дают цифры порядка 10 Мт U. Торий, который может также использоваться в качестве ресурса ядерного топлива, имеется в изобилии, широко распространен в природе и является легко доступным для использования ресурсом во многих странах. Всемирные ресурсы, согласно расчетам, составляют приблизительно 6 Мт Th. Хотя торий используется в качестве топлива на демонстрационной основе, необходимо провести значительную дальнейшую работу прежде, чем его можно будет рассматривать наравне с ураном.

30. В морской воде содержится приблизительно 4000 Мт U, но в очень низкой концентрации, составляющей 3–4 части на миллиард (ppb). Поэтому для того, чтобы произвести один кг урана, необходимо обработать 350 000 тонн воды. В настоящее время такое производство стоит слишком дорого. Исследования проводились в 1970-х и 1980-х годах в Германии, Италии, Соединенном Королевстве, США и Японии. В Японии исследования продолжаются, причем оцененные издержки производства при опытной эксплуатации составляют 750 долл./кг U.

31. Ввиду роста спот-цены на уран, в 2005 и 2006 годах разведка и разработка урана значительно выросла, причем ожидается, что рост продолжится далее в 2007 году (см. Рисунок А-3). Этот рост отмечался как в странах, которые проводили разведку и разработку урановых месторождений в прошлом, так и во многих странах, недавно приступивших к разведке урана.

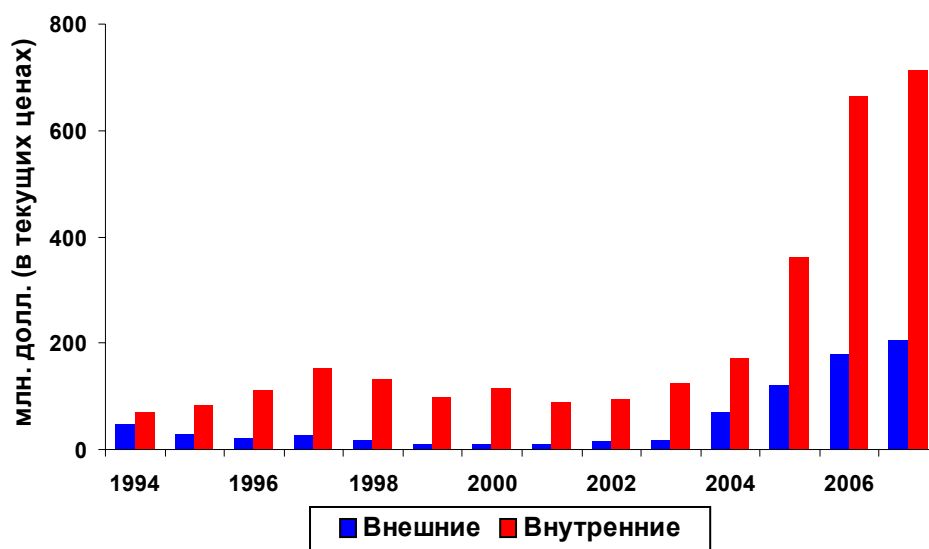


Рис. А-3. Тенденции изменения расходов на разведку и разработку урановых месторождений.
Значения за 2007 год представляют собой оценки.

32. В 2006 году производство урана во всем мире составило 39 695 т U, что почти на 6% ниже уровня 42 114 т U, достигнутого в 2005 году. Согласно оценке, в 2007 году производство увеличится до 43 600 т U. В 2006 году Австралия и Канада обеспечивали 44% мирового производства. Вместе с еще шестью странами (Казахстаном, Намибией, Нигером, Российской Федерацией, США и Узбекистаном) они обеспечивали 92% мирового производства урана.

33. Производство урана в 2006 году лишь приблизительно на 60% покрывало потребности реакторов во все мире, составлявшие 66 500 т U. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: запасов природного урана, запасов обогащенного урана, урана, переработанного из отработавшего топлива, 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% U-235).

34. Следующей стадией топливного цикла является конверсия. В настоящее время спрос и предложение на рынке конверсии сбалансированы, и для удовлетворения потребностей ожидаемого роста необходимо расширить возможности поставок. КЯР США продлила лицензию завода по конверсии гексафторида урана (UF_6) в Метрополисе еще на десять лет, до мая 2017 года. В то же самое время была увеличена на 20% производственная мощность завода. Компания "AREVA" объявила о начале осуществления проекта "Comurhex II", новой установки по конверсии урана в южной Франции, причем первое промышленное производство запланировано на 2012 год.

35. В области обогащения отмечается некоторый избыток производственных мощностей. Однако, как ожидается, более старые диффузионные заводы будут закрыты в ближайшем будущем, и они будут заменены центрифужными заводами, которые потребляют меньше энергии. В 2007 году КЯР выдала лицензию на строительство нового американского центрифужного завода компании "USEC". Строительство было начато в апреле, а в сентябре начались испытания первого промышленного каскада. Компания "Japan Nuclear Fuel Limited" (JNFL) начала каскадные испытания на своем усовершенствованном заводе по центрифужному обогащению урана в Роккасё, где смонтированы центрифуги нового, более эффективного типа. Несколько компаний подписали не имеющие обязательной силы протоколы о намерении заключить контракт на услуги по обогащению урана с компанией "GE-Hitachi Nuclear Energy", которая ведет работы по промышленному внедрению технологии лазерного обогащения SILEX следующего поколения, известной в настоящее время как технология глобального лазерного обогащения (ГЛО).

36. В мае Казахстан и Российская Федерация создали в Восточной Сибири Международный центр по обогащению урана (МЦОУ). В декабре правительство Армении объявило о своем желании присоединиться к работе Центра, что оно и сделало в феврале 2008 года. МЦОУ – это один из этапов выдвинутого в 2006 году президентом Владимиром Путиным предложения о создании "системы международных центров по предоставлению услуг ядерного топливного цикла, включая обогащение, под контролем МАГАТЭ, на основе недискриминационного доступа". Обсуждается также возможность создания Казахстаном и Российской Федерацией совместного предприятия с целью строительства еще одного завода по обогащению в Ангарске.

А.5. Отработавшее топливо и переработка³

37. Суммарное количество отработавшего топлива всех реакторов в мире составляет около 10 500 тонн тяжелого металла (тм) в год. Осуществляется две различные стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом. В рамках первой стратегии отработавшее топливо перерабатывается (или хранится для будущей переработки) с целью извлечения материала (урана и плутония), пригодного к использованию в новом смешанном оксидном (МОХ) топливе. Приблизительно одна треть выгруженного из реакторов отработавшего топлива в

³ Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении отработавшего топлива и переработки содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада МАГАТЭ за 2006 год (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

мире подверглась переработке. В рамках второй стратегии отработавшее топливо считается отходами и хранится до захоронения. Исходя из более чем 50-летнего опыта безопасного и эффективного хранения отработавшего топлива, существует высокий уровень технической уверенности в технологиях как мокрого, так и сухого хранения и в их способности справиться с возрастающими объемами до создания хранилищ для окончательного захоронения всех высокоактивных отходов.

38. По состоянию на сегодняшний день Индия, Китай, Российская Федерация, Франция и Япония либо перерабатывают большинство своего отработавшего топлива, либо хранят его для будущей переработки. Перерабатывающие установки находятся в эксплуатации в Индии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве и Франции, хотя в 2007 году установка в Селлафилде, Соединенное Королевство, не эксплуатировалась из-за внутренней утечки. В Японии начаты активные испытания на новой установке по остекловыванию отходов в Роккасё, где выделенные высокоактивные отходы заключаются в боросиликатное стекло. Однако ввиду ограниченности количеств изготавливаемого МОХ-топлива, имеющиеся мировые производственные мощности по переработке используются в настоящее время менее чем на 50%. В настоящее время Канада, США, Финляндия и Швеция предпочитают прямое захоронение, хотя в 2006 году США объявили о Глобальном партнерстве в области ядерной энергии (ГПЯЭ), которое включает разработку передовых технологий рециклирования для использования в США. Большинство стран еще не решило, какую стратегию принять. В настоящее время они хранят отработавшее топливо и следят за разработками, связанными с обеими альтернативными вариантами.

A.6. Отходы и снятие с эксплуатации

39. Американская, финская, французская и шведская программы создания хранилищ продолжают оставаться самыми развитыми, однако, как представляется, ни одна из них не обеспечит ввода в эксплуатацию хранилища ранее 2020 года. Строительство подземной установки ONKALO по характеристике отходов, которая может стать частью хранилища в Олкилуото в Финляндии, продолжается согласно плану. К концу 2007 года длина туннеля достигла 2,5 км, а глубина – 240 м. В соответствии с новым законодательством в 2006 году французская программа создания хранилищ вышла на этап детального выбора площадки с целью подачи заявки на получение лицензии в 2015 году. В Швеции на двух площадках были завершены обширные исследования площадки, и на 2009 год запланирована подача заявки на получение лицензии для выбранной площадки. В США подготовка заявки на получение лицензии для хранилища в Юкка Маунтин находится на достаточно продвинутой стадии и запланирована подача заявки в середине 2008 года. В 2007 году канадское правительство приняло предложение канадской организации по обращению с ядерными отходами (ООЯО) относительно подхода 'адаптивного поэтапного управления' к долгосрочному обращению с отработавшим ядерным топливом с целью определения и подготовки площадки хранилища при сохранении мониторинга возможности извлечения отходов.

40. Что касается снятия с эксплуатации, то Комиссией по ядерному регулированию США (КЯР) была одобрена передача в неограниченное общественное использование большей части площадки АЭС "Биг Рок Пойнт", которая была выведена из эксплуатации в 2006 году, так же, как и аналогичная передача большей части площадки АЭС "Янки Роу". Лицензии АЭС "Биг Рок Пойнт" и "Янки Роу" будут по-прежнему действовать в отношении установок для сухого хранения контейнеров. Таким образом, по состоянию на 2007 год, десять АЭС во всем мире были полностью выведены из эксплуатации, а их площадки были переданы для использования без ограничений. Семнадцать станций были частично демонтированы и безопасно законсервированы. Тридцать две демонтируются перед конечной передачей площадки для

дальнейшего использования. На тридцати четырех реакторах проводятся работы по минимальному демонтажу перед долгосрочной консервацией, в том числе на четырех магноксовых реакторах в Соединенном Королевстве на энергоблоках "Сайзуэлл" А-1 и -2 и "Данджнесс" А-1 и -2, которые были остановлены 31 декабря 2006 года.

41. После серии консультаций с экспертами государств-членов, представляющих как потенциальных доноров, так и получателей помощи, Агентство на Генеральной конференции в сентябре 2007 года ввело в действие новую сеть образцово-показательных центров по снятию с эксплуатации. Цель сети состоит в улучшении распространения знаний и опыта среди специалистов, занимающихся вопросами снятия с эксплуатации, и активизации содействия организаций в развитых государствах-членах деятельности государств-членов, нуждающихся в помощи в области снятия с эксплуатации.

А.7. Дополнительные факторы, влияющие на будущее ядерной энергетики

А.7.1. Устойчивое развитие и изменение климата⁴

42. Комиссия ООН по устойчивому развитию (КУР) впервые обсудила вопросы, связанные с энергией, на своей девятой сессии (КУР-9) в 2001 году, и все стороны согласились, что "решение об использовании атомной энергии остается за самими странами". На Всемирной встрече на высшем уровне по устойчивому развитию (ВВВУР) в 2002 году этот вывод был подтвержден, и КУР включила тему энергии в повестку дня своих 14-й и 15-й сессий. КУР-14 в 2006 году стала "обзорной сессией", цель которой состояла в проведении анализа воздействия изменений в энергетической политике и технологических достижений на прогресс в обеспечении устойчивого развития. На соответствующей 'политической сессии' КУР-15 в мае 2007 года не было достигнуто согласия в отношении нового текста по вопросам энергии, и в качестве действующих соглашений КУР по вопросам энергии были оставлены решения, достигнутые на КУР-9 и на ВВВУР.

43. Киотский протокол, который вступил в силу в феврале 2005 года, требует от большинства развитых стран ограничить выбросы парниковых газов (ПГ) в "первый период обязательств", который начался 1 января 2008 года и продолжается по 2012 год включительно. Разные страны приняли различные направления политики в связи с этим. Не все они предусматривают позитивное отношение к ядерной энергетике, несмотря на ее низкие выбросы ПГ, но в более долгосрочной перспективе пределы, установленные в отношении таких выбросов, должны делать ядерную энергетику все более привлекательной.

44. В ноябре 2007 года Межправительственная группа по климатическим изменениям (МГКИ)⁵ опубликовала свой четвертый доклад по оценке, в котором подтверждается, что последствия изменения климата уже наблюдаются и что научные выводы указывают, что для сокращения выбросов ПГ необходимо принятие оперативных мер. В декабре на о. Бали были проведены тринадцатая сессия Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации

⁴ Более подробная информация о деятельности Агентства по связанным с энергетикой аспектам устойчивого развития и изменения климата содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml>.

⁵ Месяцем ранее МГКИ и бывшему вице-президенту США Элу Гору была присуждена Нобелевская премия мира "за работу по расширению и распространению знаний об изменении климата в результате деятельности человека и формированию основ для мер, необходимых для противодействия такому изменению".

Объединенных Наций об изменении климата (КС-13) и третье совещание Сторон Киотского протокола (КС/СС-3). На совещаниях был выработан Балийский план действий⁶, который включает решение "начать всеобъемлющий процесс, обеспечивающий полное, эффективное и устойчивое осуществление Конвенции посредством долгосрочных совместных действий...", с тем чтобы принять на КС-15 решение относительно долгосрочной глобальной цели в плане сокращения выбросов. Это включает поддающиеся контролю обязательства или действия всех Сторон, являющихся развитыми странами, по смягчению последствий, поддающиеся контролю действия Сторон, являющихся развивающимися странами, по смягчению последствий в контексте устойчивого развития, и сокращение выбросов в результате обезлесения и деградации лесов в развивающихся странах. План действий не содержит конкретных количественно определенных плановых цифр сокращения выбросов. Ядерная энергетика не была основной темой обсуждения.

А.7.2. Экономика

45. Структура затрат, связанных с атомными электростанциями, характеризуется высокой стоимостью этих станций на начальном этапе, т. е. при сравнительно дорогом строительстве они относительно недороги в эксплуатации. Таким образом, существующие эффективно эксплуатируемые АЭС продолжают оставаться конкурентоспособным и выгодным источником электроэнергии. Однако что касается нового строительства, то экономическая конкурентоспособность ядерной энергетики зависит от имеющихся альтернативных вариантов, от общего спроса на электроэнергию в стране и темпов его роста, от структуры рынка и инвестиционного климата, от экологических ограничений, а также от инвестиционных рисков, связанных с возможными политическими и регулируемыми задержками или изменениями. Таким образом, экономическая конкурентоспособность в разных странах и условиях неодинакова.

46. К заслуживающим упоминания тенденциям в 2007 году относятся рост цен на все компоненты нового строительства, от бетона до труда, что связано с быстрым экономическим ростом и высоким спросом. Эта тенденция может сохраниться и более чем компенсировать любое ожидаемое снижение стоимости строительства в силу действия эффектов обучения. Эта тенденция характерна для всех источников энергии, от угля до ветра, однако чем более дорогостоящи начальные этапы в структуре затрат, тем большим оказывается ее воздействие. Пожалуй, наибольшая неопределенность для сегодняшних потенциальных инвесторов в ядерной энергетике связана с будущей ценой выбросов углерода в разных странах.

А.7.3. Безопасность⁷

47. Показатели безопасности, подобные тем, которые были опубликованы Всемирной ассоциацией организаций, эксплуатирующих АЭС, и воспроизведены на рис. А-4 и А-5, в 1990-х годах значительно улучшились. В последние годы в некоторых областях ситуация стабилизировалась. Однако разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, вследствие чего имеются значительные возможности для постоянного улучшения.

⁶ http://unfccc.int/files/meetings/cop_13/application/pdf/cp_bali_action.pdf

⁷ Более подробная информация о деятельности Агентства, касающейся ядерной безопасности, содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада за 2006 год (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>) и на веб-сайте <http://www-ns.iaea.org/>.

48. Более детальная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности* Агентства (GC(52)/INF/2).

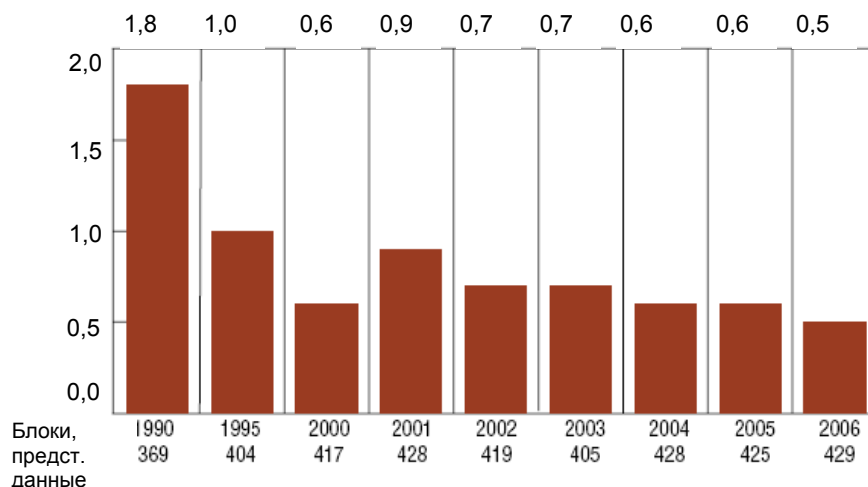


Рис. А-4. Незапланированные срочные остановки за каждые 7000 часов в критическом режиме. Источник: ВАО АЭС 2006 год. Оценочные показатели.

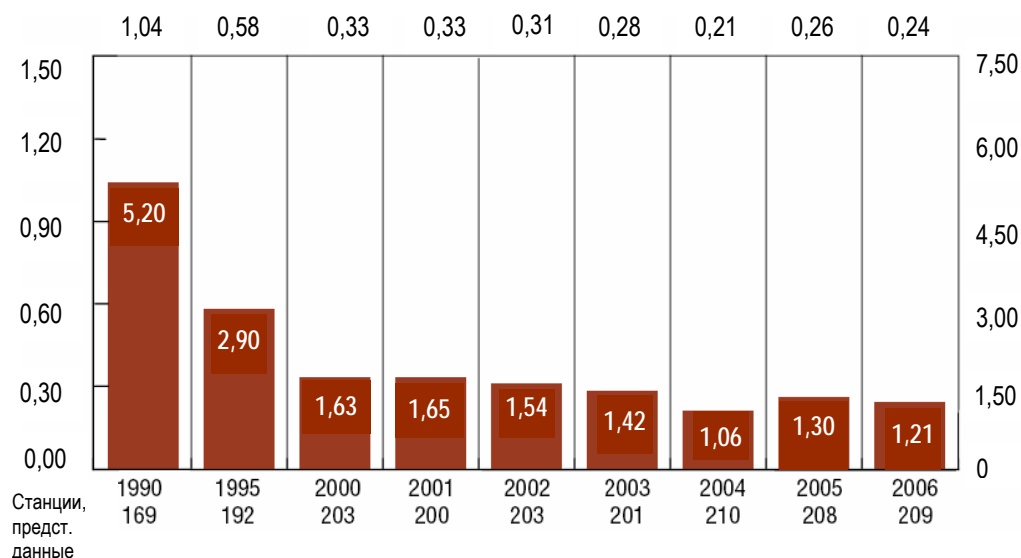


Рис. А-5. Промышленные аварии на АЭС на 200 000 часов работы (левая шкала и верхняя часть диаграммы) и на 1 000 000 человеко-часов работы (правая шкала и нижняя часть диаграммы). Источник: ВАО АЭС 2006 год. Оценочные показатели.

А.7.4. Развитие кадровых ресурсов

49. Рост ожиданий в отношении ядерной энергетики привел к уделению повышенного внимания кадровым ресурсам, которые потребуются для реализации этих ожиданий, в том числе как квалифицированных рабочих, так и выпускников учебных заведений по ядерным специальностям.

50. В 2007 году Руководящий комитет ОЭСР/АЯЭ по ядерной энергии выпустил заявление относительно роли правительств в обеспечении наличия компетентных кадровых ресурсов в ядерной области. ОЭСР/АЯЭ отметило, что, как показали недавние исследования, образование

и подготовка кадров в ядерной области в странах ОЭСР/АЯЭ подверглись ослаблению в различной степени, и, если не будет предпринято никаких действий, ядерный сектор рискует столкнуться с нехваткой квалифицированных кадров, необходимых для обеспечения надлежащего регулирования и эксплуатации существующих ядерных установок, а также строительства новых установок. Для Европы этот вывод был подкреплён в докладе Европейской комиссии от 2007 года под названием *"Устойчивая платформа ядерно-энергетических технологий: концептуальный доклад"*, в котором рекомендовано "...укрепить обучение и подготовку кадров в области ядерной науки и техники".

51. После определенного периода снижения, нынешняя тенденция набора в университеты характеризуется умеренным ростом, который зависит от:

- постоянной базовой потребности в кадровых ресурсах в области неэнергетических применений, например, в медицинских применениях и сельском хозяйстве;
- сохраняющейся потребности в зрелых ядерных программах и авторитетных ядерных организациях для подготовки кадров взамен выходящих на пенсию сотрудников; и
- ожиданий будущего роста, ведущего к повышенному притоку новых сотрудников в атомную промышленность, включая энергопредприятия, регулирующие органы и исследовательские организации.

52. Предполагаемый будущий рост, недавние инициативы в области технологических инноваций (см. Раздел В), рост правительственного финансирования, ускорение ядерных программ в таких странах, как Китай и Индия, и возобновление ядерных программ в других странах также привлекают новых студентов; например, целевое правительственное финансирование в США привело к четырехкратному увеличению за период с 2000 по 2007 годы числа поступающих для обучения ядерным специальностям (с 500 до 2000).

53. Вопросы кадровых ресурсов также рассматриваются в рамках расширяющихся программ управления ядерными знаниями в организациях атомной промышленности и международных организациях. Помимо МАГАТЭ и предоставляемой им подготовки кадров в самых разных областях, от реакторных тренажеров и до ядерного права,⁸ примерами являются также регулирующие органы, такие как КЯР США, энергопредприятия, такие как компания "Energie Baden-Württemberg (EnBW)" в Германии, и разработчики, такие как компания "AECL" в Канаде. Кроме того, стали более широко распространены создание сетей академического образования и сотрудничества. Азиатская сеть образования в области ядерных технологий выросла и насчитывает 28 учреждений-членов из 12 стран. Европейская сеть ядерного образования теперь насчитывает 28 членов, плюс 16 ассоциированных членов, из 17 стран. Третий Летний институт Всемирного ядерного университета был проведен в Сеуле, Республика Корея, в 2007 году, и в его работе участвовали 102 стажера из 35 стран.

⁸ В 2007 году в рамках программы технического сотрудничества Агентства оказывалось содействие в реализации проектов, в которых участвовали 2287 слушателей учебных курсов и 1661 стажер и командированный ученый.

В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

В.1. Усовершенствованные ядерные системы⁹

В.1.1. ИНПРО и МФП

54. Международный проект Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) обеспечивает открытый международный форум для изучения ядерно-энергетических вариантов и связанных с ними требований. Он способствует развитию компетенции в области разработки и внедрения инновационных ядерно-энергетических систем (ИЯС) и помогает государствам-членам координировать соответствующие проекты сотрудничества.

55. В рамках ИНПРО разработана методология оценки ИЯЭС. В настоящее время она используется в исследованиях по оценке, проводимых Аргентиной, Арменией, Бразилией, Индией, Китаем, Украиной, Францией и Европейской комиссией, и в совместной оценке замкнутого топливного цикла с реакторами на быстрых нейтронах, проводимой Канадой, Китаем, Индией, Республикой Корея, Российской Федерацией, Украиной, Францией и Японией.

56. В рамках ИНПРО разрабатываются также общие пользовательские критерии разработки и внедрения АЭС в развивающихся странах. Цель состоит в том, чтобы содействовать достижению понимания потребностей пользователей технологии ее обладателями.

57. Наконец, продолжается работа над 12 предложениями по проектам сотрудничества, которые были одобрены в июле 2007 года Руководящим комитетом ИНПРО.

58. 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).

59. В 2007 году были подписаны договоренности по проекту реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем в отношении исследований и разработок усовершенствованного топлива, проектирования компонентов и неядерного оборудования АЭС и глобальной

⁹ Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении отработавшего топлива и переработки содержится в соответствующих разделах Ежегодного доклада МАГАТЭ за 2006 год (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>). См. также Terms for describing new, advanced nuclear power plants, TECDOC-936, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1997; Status of liquid metal cooled fast reactor technology, TECDOC-1083, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1999; Current status and future development of modular high temperature gas cooled reactor technology, TECDOC-1198, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2001; HWRs: Status and projected development, TRS-407, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2002; Review of national accelerator driven system programmes for partitioning and transmutation, TECDOC-1365, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2003; Status of Advanced Light Water Reactor Designs: 2004, TECDOC-1391, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2004; Status of innovative small and medium sized reactor designs, TECDOC-1485, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2005; Status of Small Reactor Designs without On-site Refuelling, TECDOC-1536, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2007.

международной демонстрации актинидного цикла, которая имеет целью продемонстрировать, что ядерные реакторы на быстрых нейтронах могут обеспечить решение проблемы утилизации всего имеющегося количества актинидов. Завершена подготовка планов исследований систем SCWR и GFR, а для VHTR находятся на заключительных стадиях переговоров договоренности по проекту, предусматривающему проведение исследований по разработке и аттестации материалов и топлива VHTR и изучение вопросов топливного цикла и производства водорода. Поддерживается сотрудничество в рамках ИНПРО и МФП в целях недопущения дублирования и обеспечения синергии, и в феврале 2008 года был согласован план совместных действий из 14 пунктов. Он включает использование Агентством модели экономической оценки МФП ECONS для оценки стоимости газоохлаждаемых реакторов и использование МФП модели экономической оценки Агентства в отношении производства водорода с помощью ядерной энергии.

В.1.2. ГПЯЭ

60. Глобальное партнерство в области ядерной энергии (ГПЯЭ) – это совместные усилия 19 стран¹⁰, пришедших к согласию относительно необходимости расширения использования ядерной энергии во всем мире. Его целью является ускорение разработки и внедрения передовых технологий топливного цикла, с тем чтобы содействовать развитию, обеспечить охрану окружающей среды и снизить риск ядерного распространения. В 2007 году в рамках ГПЯЭ были созданы Исполнительный комитет на уровне министров и Руководящий комитет, которые провели в течение года первые совещания, а также рабочие группы по надежным услугам, связанным с ядерным топливом, и по развитию инфраструктуры.

В.1.3. Другая деятельность по разработке усовершенствованных ядерных систем

61. Помимо работ в рамках ИНПРО, МФП и ГПЯЭ, в ряде стран, компаний и партнерских объединений ведутся работы по исследованиям, разработке и внедрению усовершенствованных ядерных реакторов деления. Краткие сведения об этих программах содержатся в *Обзоре ядерных технологий-2007*¹¹. Новые события в 2007 году стали в значительной мере развитием прогресса, о котором сообщалось и который был достигнут в 2006 году, и поэтому в настоящем *Обзоре ядерных технологий-2008* никаких дополнительных сведений о них не приводится.

В.2. Термоядерный синтез

62. Международные усилия, направленные на использование термоядерного синтеза как будущего источника энергии, получили серьезную поддержку со стороны семи сторон (Европейского союза, Индии, Китая, Республики Корея, Российской Федерации, США и Японии), участвующих в осуществлении проекта Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), когда 21 ноября 2006 года на совещании министров в Париже было завершено и подписано Соглашение о совместной реализации проекта ИТЭР (ССР). Это соглашение было впоследствии ратифицировано всеми соответствующими правительствами. ССР вступило в силу 24 октября 2007 года, и Международная организация ИТЭР по термоядерной энергии стала официальным юридическим лицом. Агентство было связано с этой крупной международной инициативой в течение более чем 20 лет, и стороны

¹⁰ По состоянию на конец 2007 года.

¹¹ <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/ntr2007.pdf>

ИТЭР выразили большую заинтересованность в дальнейшем продолжении участия Агентства. Агентство служит в качестве важного международного пункта связи для сторон ИТЭР и всех государств-членов в том, что касается деятельности, связанной с обучением и подготовкой кадров в области термоядерного синтеза. Эксперты, работающие на небольших экспериментальных термоядерных установках, могут вносить вклад в разработку окончательной конструкции термоядерных реакторов, участвуя в работе совещаний, регулярно проводимых под эгидой МАГАТЭ, и обсуждая свои технические достижения. Агентство также обеспечивает форум для международных экспертов, исследующих конструкцию энергетической установки, основанную на магнитном удержании и альтернативных схемах. Будущая демонстрационная термоядерная энергетическая установка будет использовать опыт, накопленный при создании ИТЭР.

63. В целях ускорения освоения термоядерной энергии Евратом и Япония договорились взаимодействовать в рамках соглашения о "расширенном подходе" в течение следующих десяти лет. Инфраструктура, необходимая для дальнейшего продвижения в направлении создания демонстрационной термоядерной установки для производства электроэнергии, включает Международную установку по облучению материалов для термоядерного синтеза (МУОМТ), которая будет использоваться для испытаний и контроля материалов для термоядерных реакторов.

64. На пятой Международной конференции по научным основам и применениям инерционного термоядерного синтеза, проведенной в Японии в сентябре 2007 года, основное внимание было уделено достижениям в области термоядерного синтеза с использованием лазеров, пучков излучения или тяжелых ионов для сжатия дейтериево-третиевых таблеток и возбуждения термоядерной реакции. Интеграция технического совещания Агентства с этой международной конференцией дала экспертам возможность, при поддержке проекта координированных исследований по инерционному термоядерному синтезу, представить свою работу широкой и опытной аудитории, в том числе таким крупным организациям, как Национальная установка для термоядерного зажигания, США, французский проект "Laser Megajoule" и проекты в рамках эксперимента по реализации быстрого зажигания (FIREX) Института лазерной техники в Осаке, Япония. В 2008 году отмечается 50-летие обнародования результатов гражданских исследований в области термоядерного синтеза на второй конференции "Атом для мира", состоявшейся в 1958 году в Женеве. В октябре текущего года в том же месте – во Дворце наций в Женеве – состоится 22-я Конференция МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза, которая организуется совместно со Швейцарией в память о событии 1958 года.

65. Во многих странах растет интерес к деятельности в области термоядерного синтеза. Примером этого является недавний ввод в действие бразильским министром по науке и технике бразильской сети исследований в области термоядерного синтеза. Эта сеть позволит координировать деятельность различных университетов, научно-исследовательских учреждений и лабораторий с целью установления приоритетов и содействия международному сотрудничеству. Португалия выступала принимающей стороной для совместных экспериментов в области термоядерного синтеза, предоставив возможность приблизительно 29 молодым международным экспертам использовать португальский токамак "ISTTOK" для экспериментов, связанных с проектированием будущих термоядерных экспериментов и дистанционным участием в термоядерных экспериментах.

С. Атомные и ядерные данные

66. Международная конференция по ядерным данным для науки и техники была проведена в Ницце, Франция, с 22 по 27 апреля 2007 года. В течение шести дней интенсивных дискуссий особое внимание уделялось данным, необходимым для: инновационных реакторов и топливных циклов (более безопасных, более чистых и более экономичных ядерных реакторов деления); работ по созданию термоядерных реакторов (например, ИТЭР) и для испытания материалов, необходимых для таких установок (например, Международной установки по облучению материалов для термоядерного синтеза); систем с использованием ускорителей (СИУ), предназначенных для трансмутации ядерных отходов и производства энергии; медицинских применений, включая производство радиоизотопов, компьютерное моделирование доз излучения для пациентов и усовершенствованные методы терапии раковых заболеваний с использованием заряженных частиц; и аналитических методов, используемых для диагностики культурного наследия и анализа состава материалов.

67. Ученые сотрудничают в каждой из этих областей, и на национальном и международном уровне предпринимаются усилия, направленные на разъяснение и решение вопросов атомных и ядерных данных для обеспечения более глубокого понимания и количественного определения в таких исследованиях.

68. 11 января 2007 года в Карлсруэ, Германия, было начато осуществление нового проекта под названием EFNUDAT (Европейские установки для измерения ядерных данных) - комплексной инфраструктурной инициативы, финансируемой Европейской комиссией. Главная цель EFNUDAT состоит в том, чтобы содействовать согласованному использованию и интеграции связанных с инфраструктурой услуг посредством создания сетей, обеспечения транснационального доступа к принимающим участие установкам для измерений ядерных данных и проведения совместной исследовательской деятельности. EFNUDAT обеспечит удобную платформу для интеграции всех научных усилий, направленных на проведение высококачественных измерений ядерных данных в поддержку исследований по трансмутации отходов и проектных исследований для систем Поколения IV, разрабатываемых с целью сокращения объемов радиоактивных отходов, образующихся при производстве электроэнергии.

69. Как США, так и ОЭСР/АЯЭ в 2006/2007 годах выпустили новые библиотеки ядерных применений (ENDF/B-VII в США и ДЖЕФ 3.1.1, соответственно), в которые включены большие объемы новых данных с целью дальнейшего совершенствования характеристики и контроля работы ядерных и термоядерных реакторов. Эти данные будут использоваться для повышения надежности и эффективности и помогут сократить объемы отходов. Обеспечивается также доступ к данным для разработки систем с использованием ускорителей. Эти библиотеки вместе с экспериментальными данными по ядерным реакциям (EXFOR) используются в неразрушающих ядерных аналитических методах, таких, как нейтронно-активационный анализ и анализ с помощью ионных пучков, которые применяются для химической и изотопной характеристики ценных объектов, когда объем анализируемых проб может быть весьма малым.

70. Наряду с традиционным применением рентгеновского излучения и бета- и гамма-источников для лечения и диагностики, все большую важность приобретает прямое облучение пациентов заряженными частицами, получаемыми с помощью ускорителей. Одним из преимуществ использования заряженных частиц является предотвращение облучения здоровых тканей (см. рис. С-1). Признавая необходимость наличия точных данных для разработки и планирования установок по лечению пациентов, Агентство содействует оценке данных о взаимодействии заряженных частиц для медицинских применений.

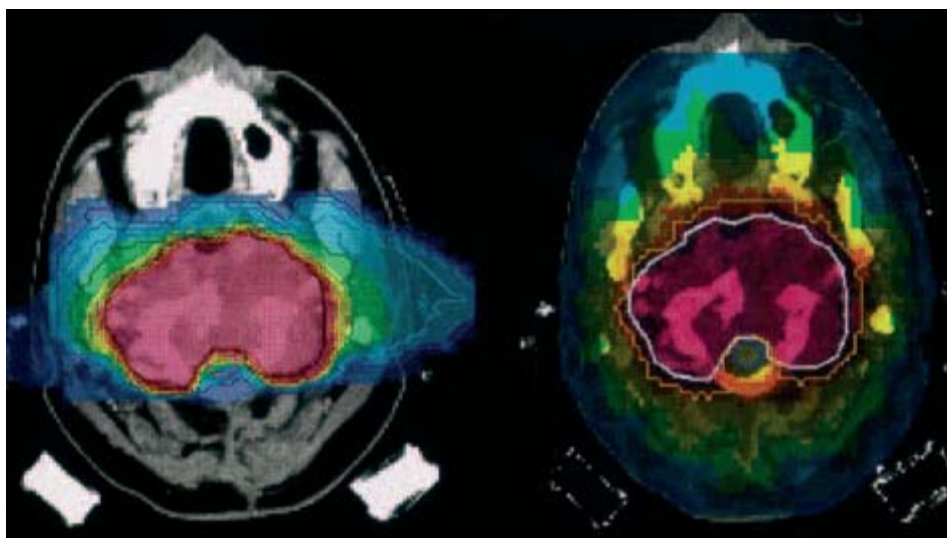


Рис. С-1. Сравнение плана лечения с использованием ионов углерода (слева) с традиционным рентгеновским лечением (справа). Обеспечивается облучение целевого объема, но доза на здоровые ткани в случае использования ионов углерода намного ниже. Точность планирования зависит от надежности базы данных по заряженным частицам (компания "Image Source GSI", Германия).

D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

D.1. Ускорители

71. В лаборатории Дейрсбери, Соединенное Королевство, начато строительство первого в мире ускорителя с "нефиксированным" постоянным полем и переменным градиентом (NS-FFAG) (рис. D-1). Ускоритель NS-FFAG, изобретенный в 1999 году, как ожидают, будет широко применяться в клинических ускорителях следующего поколения на базе лечебных учреждений для лечения раковых заболеваний с использованием пучков протонов и ионов углерода. Он меньше по размерам, проще в эксплуатации и дешевле, чем соответствующие циклотронные и синхротронные ускорители, используемые при лечении рака. Этот ускоритель электронов NS-FFAG позволит получить информацию для окончательного проектирования и строительства прототипа ускорителя для медицинских применений и знания, дающие возможность оценить его потенциал как источника протонов для использования в электроядерных системах, для трансмутации отходов и в исследованиях материалов. Этот первый ускоритель NS-FFAG проектируется в рамках международного сотрудничества с участием Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL), Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН), Национальной лаборатории ускорителей им. Ферми (Fermilab), Лаборатории субатомной физики и космологии (LPSC), лаборатории "TRIUMF" и научных центров по ускорителям в Соединенном Королевстве и, как ожидается, будет введен в эксплуатацию в 2009 году.

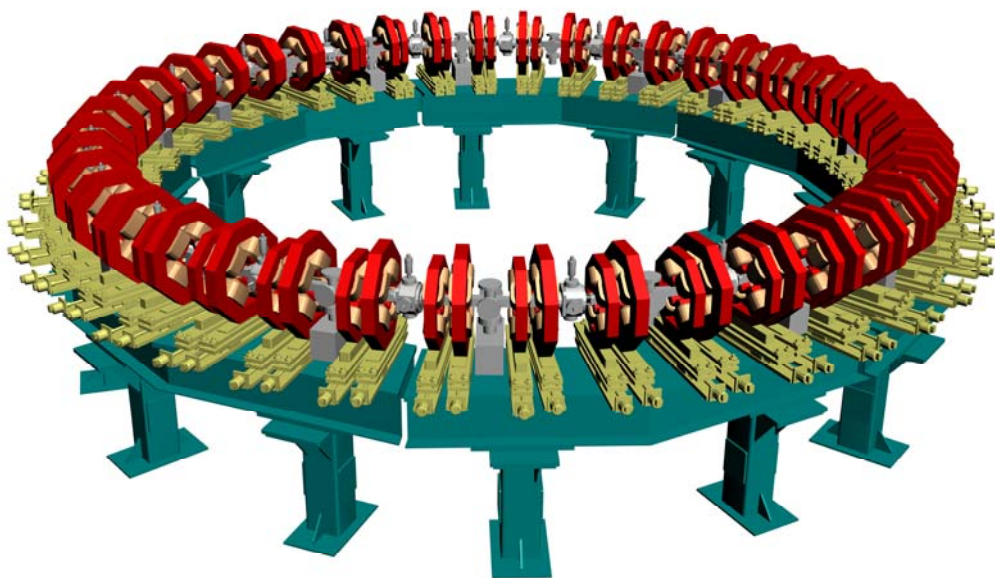


Рис. D-1. Концептуальная компоновка кольца ускорителя NS-FFAG.

D.2. Исследовательские реакторы

72. Во Франции в марте 2007 года начато строительство материаловедческого реактора мощностью 100 МВт (тепл.) им. Жюля Оровица. Этот реактор, который станет ключевой установкой в рамках инфраструктуры ЕС по поддержке развития ядерной энергетики и обеспечит производство радиоизотопов и облучение кремния для использования в электронике, сооружается французской Комиссией по атомной энергии (КАЭ) и финансируется международным консорциумом. До появления высокоплотного ураномолибденового (U-Mo) топлива на основе низкообогащенного урана (НОУ) в реакторе будет вначале использоваться урановое силицидное топливо с обогащением до 27%. В Бельгии полным ходом идет разработка новой облучательной установки с использованием ускорителей МИРРА (MYRRHA). Предполагается, что она станет европейской многоцелевой исследовательской установкой для изучения, среди прочего, трансмутации высокоактивных долгоживущих радиоактивных отходов и характеристик инновационных компонентов и материалов для будущих энергетических систем.

73. Региональное сотрудничество широко обсуждалось на Международной конференции по теме: Исследовательские реакторы: безопасное обращение и эффективное использование, проведенной в Сиднее, Австралия, 5–9 ноября 2007 года. На конференции был, в частности, сделан вывод о том, что международное сотрудничество в ряде случаев было успешным и являлось ключом к успеху в деле удовлетворения потребностей пользователей и поддержания финансово сильных учреждений в будущем; что консорциумы, коалиции и сети групп независимых авторитетных экспертов могут развивать и поддерживать эффективное использование; и что Агентству следует и далее содействовать формированию групп организаций, эксплуатирующих исследовательские реакторы, и признавалось, что ни одна модель не пригодна для всех ситуаций.

74. Программа по пониженному обогащению топлива для исследовательских и испытательных реакторов (RERTR) и другие инициативы, такие, как Инициатива по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ), направлены на обеспечение перевода исследовательских реакторов, использующих топливо, содержащее высокообогащенный уран

(BOU), на топливо на основе НОУ. Во всем мире к концу 2007 года на НОУ топливо были переведены пятьдесят пять исследовательских реакторов, и запланирован перевод еще сорока шести реакторов с использованием имеющихся аттестованных видов топлива. Для перевода с BOU на НОУ еще двадцати восьми исследовательских реакторов необходимы разработка и аттестация весьма высокоплотного усовершенствованного U-Мо топлива, которое все еще предстоит аттестовать. Успешно осуществлялась международная координация требуемой разработки и аттестации высокоплотного НОУ топлива, что было отмечено на ежегодных совещаниях Программы RERTR и международного тематического совещания по обращению с топливом исследовательских реакторов (RRFM) в 2007 году.

75. В *Обзоре ядерных технологий-2007* сообщалось о работах по устранению недостатков в поведении весьма высокоплотного дисперсионного U-Мо топлива, особенно при высоких мощностях и температурах. Несколько потенциальных мер, включая изменения химического состава топлива и матрицы или замену алюминиевой матрицы другим материалом, а также альтернативную стратегию, предусматривающую полный отказ от матрицы (монокристаллическое топливо), исследуются в сотрудничестве Международной рабочей группой по разработке топлива с участием Аргентины, Германии, Канады, Республики Корея, Российской Федерации, США и Франции.

76. Результаты послереакторного исследования минипластин дисперсионного U-Мо топлива, облученных в ходе испытаний в США, показали, что добавление 2-5% кремния значительно снижает интенсивность взаимодействия между топливом и матрицей и эффективно решает проблемы набухания в режимах мощности и температуры, использованных при испытаниях.

77. Результаты проведенных во Франции испытаний по облучению полноразмерных пластин дисперсионного U-Мо топлива с измельченным или мелкодисперсным порошкообразным U-Мо и различными составами алюминиевой матрицы с добавлением или без добавления кремния продемонстрировали весьма хорошие характеристики стойкости к облучению при высоких уровнях мощности и выгорании даже без добавления в матрицу кремния. Это поведение, в принципе, можно объяснить присутствием на частицах защитной оксидной пленки.

78. Для перевода исследовательских реакторов с высокими параметрами требуется монокристаллическое U-Мо топливо с более высокой плотностью урана, и прилагаются значительные усилия по его разработке. Монокристаллические топливные минипластины были облучены и показали хорошие результаты в различных режимах, начиная с умеренной удельной мощности до умеренной глубины выгорания и до режима весьма высокой удельной мощности до большой глубины выгорания. Разрабатываются и внедряются различные методы изготовления монокристаллического U-Мо топлива.

Е. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях

Е.1. Улучшение сельскохозяйственных культур

79. Индуцированные мутации сельскохозяйственных культур стали методом, выбранным для выведения более высококачественных сортов сельскохозяйственных культур, что позволило официально ввести в сельскохозяйственную практику приблизительно 3000 мутантных сортов

(Рисунок Е-1). Мутанты 'первого поколения', в соответствии со стоявшими в свое время перед селекцией задачами, решали проблему повышения урожайности посредством достижения более высокой эффективности использования питательных веществ и стойкости к биотическим и абиотическим стрессам. По достижении плато урожайности наиболее важных сельскохозяйственных культур

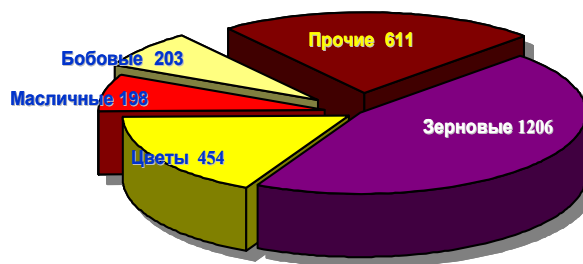


Рис. Е-1. Мутантные сорта (2007 год)
Источники: База данных ФАО/МАГАТЭ по мутантным сортам
(<http://www-mvd.iaea.org/>)

основное внимание в селекционных программах теперь перенесено на введение ценных признаков, обеспечивающих диверсификацию конечного использования, более высокие доходы благодаря повышенной конкурентоспособности и выполнение специфических диетических требований. Для введения этих признаков требуются лишь незначительные изменения наследственных факторов (генов), и эта проблема особенно эффективно решается методами индуцированного мутагенеза.

80. К недавно выведенным методом индуцированных мутаций сортам сельскохозяйственных культур, обладающим высококачественными признаками, которые удовлетворяют вышеупомянутым специфическим требованиям, относятся два высокопитательных сорта ячменя (пониженное содержание фитиновой кислоты потенциально увеличивает биодоступность железа, цинка и кальция), "Клируотер" и "Хералд". При использовании этих двух сортов, например, в качестве корма фермеры получают значительную экономию, избегая необходимости закупок дорогостоящих кормовых добавок, противодействующих эффектам фитиновой кислоты. Использование этих мутантных сортов также способствует сохранению более чистой окружающей среды, поскольку в значительной мере устраняется загрязнение подземных и поверхностных вод избыточным фосфором, связанным с кормлением сельскохозяйственных животных сортами ячменя с высоким содержанием фитиновой кислоты.

81. Индуцированные мутации также расширяют потенциальные возможности использования сои, повышая ее питательную ценность. Недавно выведенный в Японии сорт "Сакукеи 4" обладает способностью связывать азот и тем самым по существу становится для себя источником удобрений, устраняя необходимость во внесении других удобрений. Это приносит фермерам значительную экономию. К другим недавно выведенным сортам сои относятся сорт "Юменори", отличающийся высоким содержанием предшественника "хорошего" протеина, глицина, и сорт "Ичихиме", не содержащий липоксигеназы, природного растительного фермента, способствующего возникновению таких заболеваний, как астма и коронарные болезни сердца.

Е.2. Совершенствование производства биотоплива

82. Многими странами установлены плановые цифры и графики перехода с бензина на топливо, производимое с использованием возобновляемых ресурсов. Для выполнения этих плановых цифр, многие из которых были установлены на ближайшее будущее, необходимо увеличить производство этилового спирта и дизельного биотоплива. Наряду с другими требуемыми мерами, при производстве этилового спирта необходимо будет перейти с

использования крахмала на использование целлюлозы. Генетическое совершенствование сельскохозяйственных культур, являющихся источниками биомассы, позволяет повысить как общий выход биомассы, так и эффективность ее преобразования. Эффективным способом достижения этих целей является осуществление программы по селекции растений с использованием метода индуцирования мутаций, причем выбор базируется на индивидуальных генах, а не на больших участках хромосом, содержащих конкретный признак. Недавно с помощью высокопродуктивного метода генетического скрининга была проведена оценка состава стенок клеток кукурузы, что позволило отобрать мутантные сорта, которые могут теперь быть оценены с точки зрения эффективности преобразования биомассы. Мутантные гены могут быть включены в селекционную программу, или же генная последовательность может быть использована для определения естественных разновидностей, представляющих интерес.

Е.3. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве

83. Применения ядерных технологий, которые были разработаны с целью выполнения специфических и уникальных требований, все шире используются для количественного и качественного улучшения сельскохозяйственных животных и продукции животноводства. Как показывают современные тенденции, важную роль в совершенствовании питания, воспроизводства и здоровья животных будут играть передовые методы. Например, радиоиммуноанализ используется в настоящее время для измерения концентрации определенных молекул в биологических пробах, мечения микробов в рубце жвачных животных, оценки кормов для животных и анализа превращения кормов в питательные вещества и их поглощения. Твердофазный иммуноферментный анализ (ТИФА) широко используется для оценки, идентификации и наблюдения за целевыми антителами с целью обнаружения воздействия патогенов на животных. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) или последовательное выполнение операций ПЦР используется для обнаружения и характеристики на молекулярном уровне патогенов болезней животных путем прямой маркировки ДНК с целью выбора или подтверждения выбранных геномных признаков, являющихся желательными (более постное мясо, большие надои молока, болезнестойкость и т.д.), или для определения родословной или происхождения животного. Такие новые применения ядерных технологий постоянно внедряются в практическую ветеринарную деятельность.

84. Использование стабильных изотопов, облученных вакцин и позитронно-эмиссионной технологии открывает возможности в будущем. Стабильные изотопы по-прежнему используются в животноводстве и ветеринарии. Мечение углеродом-13 или азотом-15 используется в методах экспериментального контроля метаболизма углеводов и усвоения белков и питательных веществ. Метод разбавления меченной стабильными изотопами водой (окисью дейтерия) все более широко используется для определения безжировой компоненты массы тела, жировой массы, композиционного состава тела и общего усвоения крупным рогатым скотом воды и молока. Концентрацию окиси дейтерия в жидкости организма измеряют с помощью методов изотопной масс-спектрометрии или инфракрасной спектроскопии. Изотопная масс-спектрометрия также используется в исследованиях патогенности и других физиологических исследованиях и при неинвазивном определении географического происхождения продукции животноводства. Имея возможность точно отслеживать географическое происхождение продукции животноводства, государства-члены в состоянии расширить свои экономические возможности. Например, если та или иная болезнь может быть уничтожена во всех регионах страны, кроме конкретных небольших регионов, то экспорт продукции животноводства из других регионов может быть обоснованно разрешен, если удастся точно доказать, что такая продукция была произведена в зонах, где нет болезни.

Кроме того, этот подход может быть потенциально использован для определения возможной роли, которую играют дикие животные как переносчики болезней животных, например, для определения влияния перелетных птиц на распространение птичьего гриппа из эндемических в незараженные зоны.

85. Инактивация вакцин облучением позволяет получить мертвые патогены, которые лучше имитируют модель индуцирования иммунного ответа живых патогенов. Это открывает новый подход к вакцинации против таких конкретных болезней, как малярия, яшур,



Строительство центра по разведению и облучению мухи цеце в Калити, Аддис-Абеба, Эфиопия

энзоотический гепатит или неоспороз крупного рогатого скота, поскольку полученные с помощью методов генетической инженерии вакцины оказались малоэффективными. Начаты исследования на облученных вакцинах против паразитов крови сельскохозяйственных животных.

86. В последние годы происходит внедрение в ветеринарную практику многих медицинских технологий, разработанных для лечения людей. Одним из примеров является позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Ветеринары используют ПЭТ для диагностики опухолей и других нерегулярных тканевых образований у высокоценных животных, таких, как скаковые лошади и племенные быки. Благодаря использованию ПЭТ удастся сократить расходы и обеспечить щадящее обращение с животными ввиду снижения необходимости применять диагностическую хирургию.

Е.4. Борьба с насекомыми-вредителями

Е.4.1. Борьба с мухой цеце с помощью МСН

87. Усилия по расширению применения метода стерильных насекомых (МСН) против мухи цеце осуществляются в приоритетных районах, в том числе в южной части Восточно-Африканской зоны разломов в Эфиопии. 3 февраля 2007 года в рамках проекта по ликвидации мухи цеце в южной части Восточно-Африканской зоны разломов были официально открыты первые два модуля большого центра по выращиванию и облучению мухи цеце, расположенного в Калити, вблизи Аддис-Абебы. Торжественное открытие состоялось после специальной конференции доноров Панафриканской кампании Африканского союза по ликвидации мухи цеце и трипаносомоза. Готовая установка будет состоять из семи модулей и будет обеспечивать содержание и разведение не менее семи миллионов самок мухи цеце, способных производить приблизительно 700 000 стерильных самцов в неделю, чего достаточно для обработки площадей от 4500 до 7500 км². Размер колонии мухи цеце в Калити постоянно увеличивается, но для того, чтобы достичь такой численности колонии, которая необходима для начала рабочего осуществления МСН, следует дополнительно существенно увеличить число мух цеце. В мае 2007 года с целью оценки выполнения полевых работ были успешно проведены первые пробные выпуски стерильных самцов мухи цеце, которые показали, что мухи выжили и распространились так, как необходимо для выполнения будущей программы ликвидации.

88. Недавно была завершена разработка стандартных рабочих процедур ФАО/МАГАТЭ для массового разведения мухи цеце. Они являются большим вкладом в применение МСН против мухи цеце, поскольку содержат первое всестороннее изложение всех процедур, связанных с созданием колонии, массовым разведением, обработкой и хранением при отборе крови и контролем качества стерильных мух.

Е.4.2. Борьба с плодовой мухой с помощью МСН

89. Средиземноморская плодовая муха *Ceratitis capitata* (средиземноморская муха) относится к насекомым-вредителям, наносящим наибольший ущерб международной торговле сельскохозяйственными продуктами. С целью преодоления барьеров для экспорта свежих плодов цитрусовых Испания применяет метод стерильных насекомых в регионе Валенсии, из которого поступает 80% всего объема экспорта цитрусовых этой страны. Недавно, в апреле, в Валенсии, Испания, была официально открыта вторая в мире по величине установка для массового производства средиземноморской мухи. Создание этой установки, являющейся первой в Европе крупномасштабной установкой по производству этих насекомых, означает для сельскохозяйственного сообщества Валенсии стратегический шаг вперед в комплексной борьбе с сельскохозяйственными вредителями на обширных территориях. Установка способна производить 500-600 млн. стерильных самцов средиземноморской мухи в неделю и позволяет Испании подавить популяции средиземноморской мухи более экологически безопасным способом. Инвестиции позволят плодоводству Валенсии сократить использование инсектицидов и получить доступ к новым экспортным рынкам.



Недавно открытая установка массового разведения средиземноморской плодовой мухи в Валенсии, Испания.

Е.4.3. Борьба с молью с помощью МСН

90. В Цитрусдале, долине на территории Западного Мыса в Южной Африке, где приблизительно 6000 га земли используются для выращивания плодов цитрусовых на экспорт, в сотрудничестве с ФАО и МАГАТЭ осуществляется пилотный проект по борьбе с ложной плодовой молью яблонной *Thaumatotibia leucotreta*. Она является самым серьезным насекомым-вредителем плодов цитрусовых культур в Южной Африке. Борьба с этой молью представляет собой трудную задачу ввиду ее резистентности к инсектицидам, причем моль является главным международным барьером для экспорта плодов цитрусовых. Ввиду достигнутых позитивных результатов производители цитрусовых приняли решение преодолеть эту проблему с помощью МСН и обязались развернуть в ближайшем будущем коммерческую программу по применению этого метода. Потенциальное использование стабильных изотопов изучается в качестве еще одного инструмента исследований для понимания экологических процессов, связанных с

трансграничными насекомыми-вредителями, такими, как пустынная саранча, в целях более глубокого анализа поведения насекомых. Более глубокое понимание биологических и экологических аспектов существования таких мигрирующих насекомых-вредителей в конечном итоге способствует разработке более эффективных стратегий борьбы с ними.

Е.5. Облучение пищевых продуктов

91. Потери пищевых продуктов, связанные с насекомыми-вредителями, загрязнением и порчей продукции, громадны. Согласно оценке, 42% производства восьми основных пищевых продуктов и товарных культур мира теряются из-за насекомых-вредителей, а потери после сбора урожая добавляют к этой цифре еще 10%. Несмотря на использование современных систем производства и распределения пищевых продуктов, болезни, переносимые с пищевыми продуктами, также являются широко распространенной угрозой для здоровья человека, а также важным фактором снижения производительности экономики во всех странах. Поэтому обеспечение безопасности и качества пищевых продуктов и сельскохозяйственных товаров является одним из важнейших аспектов национальных подходов к решению двойной проблемы, связанной с ростом урбанизации и повышением уровня здравоохранения.

92. Облучение пищевых продуктов - ценный инструмент для решения проблемы сокращения потерь из-за порчи и ухудшения пищевых продуктов, борьбы с микробами и другими организмами, вызывающими болезни, передающиеся через пищевые продукты, и выполнения санитарных и фитосанитарных требований¹². Помимо продолжающегося использования облучения для санитарных целей, расширяется использование облучения для фитосанитарных применений, и особенно применений, связанных с карантинными мерами. Международные нормы и своды положений, направленные на содействие применению этой технологии производства пищевых продуктов, разработаны в сотрудничестве с Совместной комиссией ФАО/ВОЗ по Codex Alimentarius и Международной конвенцией по защите растений.

Г. Здоровье человека

Г.1. Индивидуализированный подход к лечению рака с использованием методов ядерной медицины

93. Для успешного лечения рака необходимо всестороннее понимание сложного взаимодействия между различными факторами, приводящими к росту раковых образований. Понимание специфических особенностей рака у отдельных лиц на клеточном, генетическом и молекулярном уровне играет важнейшую роль при определении метода лечения конкретного пациента и намного повышает шансы на излечение. Молекулярная визуализация в ядерной медицине с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) переопределила и модернизировала медицинский подход к лечению раковых больных. То, что рак классифицируется исключительно по его анатомическому месту нахождения, может быть одной из причин того, почему пациенты, которые, как предполагают, страдают одними и теми же раковыми заболеваниями, реагируют на лечение совершенно различным образом. В настоящее время имеются инструментальные средства, позволяющие понять на молекулярном

¹² Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2008*.

уровне причины столь сильного различия реакций пациентов. Это позволяет выбрать правильные режимы лечения. Оказалось, что раковые образования, выявленные в удаленных друг от друга частях тела, могут быть более сходны, чем две опухоли, находящиеся в одном и том же органе, в зависимости от того, какой тип канцерогенных мутаций они вызывают. Детальное понимание патогенных процессов, обеспечиваемое благодаря ПЭТ, можно использовать для рациональной выработки лекарственных препаратов, обеспечивающих проведение целенаправленной терапии.

94. В области лечения рака гематологи, педиатры и онкологи начинают исследовать комплексные подходы к терапии с применением химиотерапии, иммуномодулирующих или модулирующих клеточную передачу сигнала агентов в сочетании с целевыми разыскивающими опухоли молекулами (пептидами, антителами или олигонуклеотидами), с тем чтобы повысить возможности излечения раковых больных. Подходы к лечению на основе радиационного нацеливания с применением изотопов обладают многочисленными преимуществами при лечении как локализованных или распространенных солидных раков, так и переносимых с кровью злокачественных образований.

Г.2. Радиационная онкология

95. Технологические достижения в областях планирования терапии и доставки радиации позволили принять стратегии облучения опухолей с использованием подхода трехмерной конформно-лучевой терапии (3D-CRT) и даже таких методов с высокой конформностью, как стереотактическая радиотерапия (SRT) или лучевая терапия с модулированным по интенсивности пучком (IMRT). Конформная терапия описывает радиотерапевтический метод лечения, при котором создается высокодозный объем, точно соответствующий по форме желательному объему мишени, и в то же время в максимально возможной степени сводится к минимуму доза на критические нормальные ткани. Внедрение наиболее передовых методов, таких, как SRT и IMRT, а также лучевой терапии под визуальным контролем (IGRT) и респираторно-синхронизированной радиотерапии (RGRT) привело к улучшению понимания важности запасов и перемещений органов. Кроме того, крупным достижением в области лучевой терапии в последние годы явилось введение в процесс планирования лечения функциональной информации, полученной методом визуализации. Например, использование сканирования методом ПЭТ в сочетании со сканированием методами традиционной компьютерной томографии позволяет получать изображения с биологическими/метаболическими маркерами, которые дают возможность более точно задавать зоны радиотерапевтического воздействия и дозы для индивидуальных пациентов, что приводит к лучшим результатам лечения.

96. Положительная оценка этих технологий вытекает из предположения о том, что более точная локализация опухоли, более прецизионное формирование распределения доз и более индивидуализированное их задание улучшат результаты лечения за счет снижения токсичности или улучшения локального контроля опухолей путем применения стратегий эскалации доз. Эти подходы активно изучаются во всем мире.

97. Первостепенное значение для широкого применения новых технологий имеют аспекты, связанные с обучением. Виртуальное обучение на базе Интернета может оказаться эффективным, поскольку оно позволяет снизить общие затраты и более быстро внедрять эти технологии в повседневную клиническую практику. В то же время в глобальных масштабах предпринимаются усилия, направленные на повышение стандартов образования медицинских физиков, обеспечивающих поддержку применения этих новых технологий лечения. Во многих странах созданы организации, определяющие компетенцию медицинских физиков и проводящие аккредитацию местных программ подготовки в условиях клиник.

98. Помимо достижений в области внешней лучевой радиотерапии, недавнее усовершенствование источников с высокой мощностью дозы (ВМД) на кобальте-60 может позволить проводить современные процедуры брахитерапии ВМД с менее частой заменой источников, чем это необходимо в случае других источников. Это позволит сделать радиотерапию более эффективной с точки зрения затрат и повысит доступность лечения для пациентов. Что касается мультимодального лечения, то в результате ряда высококачественных клинических испытаний было подтверждено, что сочетание радиотерапии с применением фармацевтических средств повышает выживаемость пациентов с множественными общими формами рака.

Г.3. Питание

99. Центральная роль питания для обеспечения развития была недавно вновь подчеркнута Всемирным банком в его публикации, озаглавленной *"Центральная роль питания для обеспечения развития; стратегия крупномасштабных действий"*¹³. На важность инвестирования в сферу питания указывает растущее понимание на международном уровне того, что масштабы проблемы недостаточного питания как глобальной проблемы в области здравоохранения будут препятствовать достижению многими странами Целей в области развития, сформулированных в Декларации тысячелетия, а также новые свидетельства того, что решения проблемы недостаточного питания имеются. Превосходные экономические показатели инвестиций, связанных с мерами вмешательства в области питания, направленными на борьбу с недостаточным питанием, были подчеркнуты в ходе Копенгагенского консенсуса¹⁴. Согласно данным Консенсуса, уровни отдачи инвестиций в программы борьбы с инфекционными болезнями, такими, как ВИЧ/СПИД и малярия, и борьбы с недостаточным питанием представляют собой шесть показателей, входящих в дюжину лучших предлагаемых мер вмешательства.

100. Роль ядерных методов в развитии и оценке мер вмешательства в области питания хорошо известна, и многие государства-члены теперь получают пользу от расширенного доступа к техническому потенциалу в области использования методов, основанных на использовании стабильных изотопов в питании¹⁵. Наблюдающиеся в последнее время тенденции указывают на более широкое использование методов, основанных на использовании стабильных изотопов, для решения таких приоритетных проблем, как проблемы питания и ВИЧ/СПИД, питания младенцев и дефицита питательных микроэлементов. Использование метода стабильных изотопов, например, для контроля изменений композиционного состава тела (соотношения массы жировых и мышечных тканей) в ходе применения мер вмешательства в области питания может дать важную информацию для оптимизации ухода, лечения и поддержки людей, больных ВИЧ/СПИД, и особенно актуально в контексте расширенного доступа к антиретровирусному лечению в условиях скудных ресурсов.

101. Кроме того, методы стабильных изотопов используются в нескольких странах для оценки усвоения материнского молока вскармливаемыми грудью младенцами и определения сроков перехода на другие твердые и жидкие пищевые продукты. Поэтому его можно использовать для контроля мер вмешательства с целью обеспечения кормления в течение первых шести месяцев исключительно грудью, с последующим добавлением соответствующих дополнительных пищевых продуктов при продолжении кормления грудью, как рекомендовано Всемирной организацией здравоохранения.

¹³ <http://siteresources.worldbank.org/NUTRITION/Resources/281846-1131636806329/NutritionStrategy.pdf>

¹⁴ <http://www.copenhagenconsensus.com/>

¹⁵ Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2008*.

102. Методы стабильных изотопов также используются в настоящее время для разработки и оценки стратегий борьбы с дефицитом питательных микроэлементов. Например, методы стабильных изотопов могут использоваться для оценки биодоступности железа из различных соединений в качестве важного шага в разработке стратегии обогащения пищевых продуктов питательными веществами и контроля изменения обеспеченности витамином А лиц, получающих витамин А с пищевыми продуктами и добавками, обогащенными питательными веществами.

Г. Окружающая среда

Г.1. Улучшение обнаружения радионуклидов для целей экологической оценки земной среды

103. Полевая гамма-спектроскопия применяется во многих областях, включая оценку радиоактивности в верхних слоях грунта, оценку радиационных полей гамма-излучения (и, следовательно, мощности дозы) и определение мест нахождения бесхозных источников. В случае ядерной аварии с широким распространением искусственных радионуклидов в окружающей среде воздушные измерения становятся важным инструментом для быстрого и крупномасштабного определения загрязнения почвенного покрова конкретными радионуклидами. Обычно используются детекторы на основе кристаллов йодистого натрия или высокочистых германиевых кристаллов. Преимуществами первых являются прочность и высокая эффективность детектирования, а недостатком – низкая разрешающая способность по энергии. Они на постоянной основе используются при обследовании относительно больших площадей, например, с помощью систем аэросъемки или систем, смонтированных на транспортных средствах, и при оценке активности природных радионуклидов в тяжелых полевых условиях, например, на площадках для добычи урана. Использование глобальной системы определения местоположения (GPS) для получения точных данных о местонахождении, наряду с развитием методов анализа данных, привело в последние годы к значительному совершенствованию анализа данных, получаемых в результате таких обследований.

104. Детекторы на основе германия обычно используются в тех случаях, когда важна идентификация отдельных радионуклидов. Совершенствование производства высокочистых кристаллов германия в последние годы означает, что теперь можно получать более крупные кристаллы, что позволяет добиваться более высокой эффективности детектирования. Однако германиевые детекторы необходимо охлаждать жидким азотом, что вызывает практические трудности при использовании этих детекторов в полевых условиях.

Г.2. Качество результатов измерений

105. Физические и химические измерения (в том числе ядерные аналитические методы), используются для оценки качества и пригодности товаров в торговле. Необходимо обеспечивать и подтверждать качество результатов измерений, с тем чтобы они воспринимались как часть процесса принятия решений. К факторам, вносящим вклад в

обеспечение уверенности в качестве, относятся соответствующая инфраструктура измерений (участие национальных институтов метрологии и наличие необходимых калибровочных эталонов), а также наличие средств контроля качества, таких, как эталонные материалы¹⁶.

G.3. Применение ядерных методов для обеспечения экологической устойчивости морской среды

G.3.1. Расширение применений радиоанализа в области безопасности морепродуктов

106. Явление отравления рыбой, сигуатера (CFP), связано с употреблением в пищу тропических рифовых рыб, в организмах которых накапливаются токсины, вырабатываемые вредными морскими водорослями. Эти токсины, которые могут быть измерены методом радиоанализа, могут вызывать тяжелые желудочно-кишечные, неврологические и сердечно-сосудистые расстройства. В прошлом случаи отравления людей рыбой, сигуатера, происходили только в тропических островных сообществах, но ввиду расширения торговли морепродуктами, потребления морепродуктов во всем мире и международного туризма риску стали подвергаться группы населения во всех регионах мира. Число случаев CFP в тропиках колеблется в пределах от 10 000 до 50 000 в год. Метод радиоанализа теперь используется во Французской Полинезии для количественного определения сигуатоксина в морских пищевых продуктах, включая гигантских моллюсков и рыбу, и для изучения его переноса через тропические морские пищевые цепочки. С целью решения этой растущей проблемы Агентством начато осуществление проекта координированных исследований по использованию технологии радиоанализа для количественного определения сигуатоксинов в рыбе, который будет также дополняться помощью, предоставляемой государствам-членам посредством проектов технического сотрудничества.

G.3.2. Изменение климата и подкисление океанов

107. Уровни содержания двуокиси углерода (CO₂) в атмосфере увеличиваются вследствие сжигания органического топлива (нефти, газа, угля) и обезлесения. И все же уровни содержания (CO₂) в атмосфере были бы еще более высокими, если бы не океан, который поглощает около одной трети производимой человеком двуокиси углерода. В результате уровни содержания двуокиси углерода в океанах также увеличиваются, и, поскольку двуокись углерода является окислом, водородный показатель океанской воды снижается. Это явление 'подкисления океанов', вероятно, будет неблагоприятно воздействовать на многие морские организмы, особенно кораллы и раковинные морские организмы, такие, как устрицы, мидии и моллюски, и может воздействовать на все системы морских пищевых продуктов, что скажется на естественном биоразнообразии и аквакультуре. Межправительственная группа по климатическим изменениям недавно обратила внимание на это как на критический пробел в знаниях¹⁷.

108. Подкисление океанов может также изменить растворимость загрязняющих веществ, таких, как тяжелые металлы, таким образом воздействуя на безопасность морепродуктов. Морские изотопы, такие, как изотопы бора, используются для определения изменений в прошлом значений водородного показателя воды океанов и их отличий от современного уровня, измененного в результате воздействия человека. Другой изотоп, кальций-45, используется в

¹⁶ Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2008*.

¹⁷ http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf

важном методе измерения скорости кальцификации в кораллах, поскольку коралловые рифы являются средой обитания и местом размножения для рыб, обеспечивают защиту от штормов и эрозии и являются основой многомиллиардной туристической индустрии. Агентство оказывает помощь государствам-членам в использовании изотопных исследований и числовых моделей для улучшения понимания и прогнозирования процессов воздействия подкисления океанов на морские ресурсы. Например, проводятся прикладные радиоэкологические исследования ожидаемых высоких уровней содержания CO_2 и низких уровней показателя pH с использованием кальция-45 и других изотопов, с тем чтобы помочь понять влияние подкисления океанов на коммерчески важные организмы, такие, как личинки рыб и моллюски.



Новая установка для оценки воздействия подкисления океанов на личинки коммерческих сортов рыбы в Лаборатории радиоэкологии Агентства, Монако.

Н. Водные ресурсы

109. Подземные воды обеспечивают покрытие более чем половины мировых потребностей в пресной воде. Эта доля достигает 90% в странах с засушливым или полузасушливым климатом, где испытывается нехватка воды, и в развивающихся странах с широко развитым орошаемым земледелием. Усиливающееся воздействие изменения климата на наличие ресурсов пресной воды делает подземные воды все более критически важным ресурсом и требует ее бережливого использования. Для проведения оценок и управления водоносными горизонтами, используемыми для развития ресурсов подземных вод, требуются данные многолетних наблюдений. По большинству районов мира такой информации почти не имеется. Изотопные данные позволяют заглянуть внутрь природных систем подземных вод и являются важным источником комплексных временных и пространственных данных об их функционировании, открывая возможности оценки и рационального использования подземных вод без значительных инвестиций времени и ресурсов.

110. Признавая это важное применение изотопных данных, ряд стран принимает меры, направленные на расширение имеющихся в национальных масштабах изотопных данных. Агентство организовало выпуск серии атласов, подытоживающих изотопные данные, накопленные в рамках связанной с подземными водами деятельности по технической помощи в государствах-членах за последние пятьдесят лет. Большая часть этих изотопных данных о подземных водах до настоящего времени не была легкодоступной.

111. Первый атлас посвящен Африке и содержит данные более чем 10 000 изотопных проб. Как можно видеть на приведенном ниже рисунке, изотопные данные четко показывают области нахождения в северном африканском регионе старых подземных вод, которые в настоящее время не пополняются и возраст которых превышает приблизительно 10 000 лет. Низкие (более отрицательные) значения $\delta^{18}\text{O}$ показывают, что пополнение подземных вод во многих частях северной Африки происходило главным образом в условиях климата, более прохладного, чем нынешний. Эти подземные воды содержатся в основных трансграничных водоносных системах, таких, как Нубийский водоносный горизонт между Египтом, Ливийской Арабской Джамахирией, Чадом и Суданом, и их совместное рациональное использование чрезвычайно важно для развития человеческого потенциала в этом регионе.

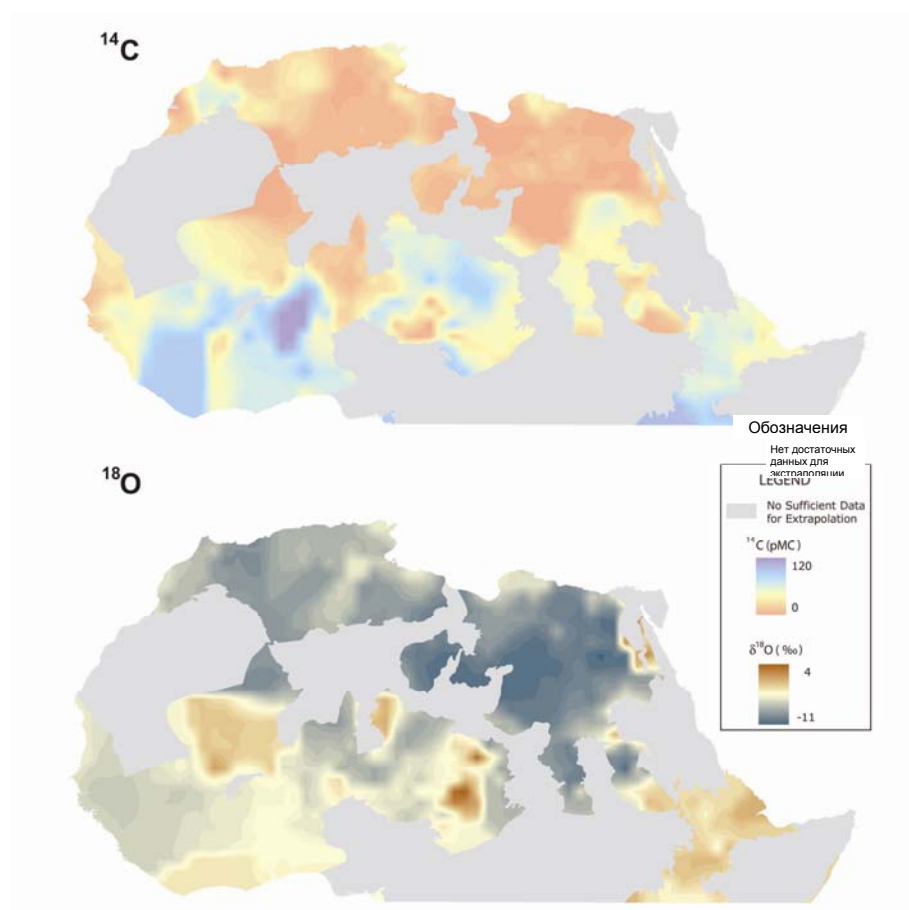


Рис. Н-1. Содержание углерода-14 и кислорода-18 в подземных водах в северной Африке по данным недавно опубликованного МАГАТЭ Атласа данных изотопной гидрологии. Низкие значения содержания углерода-14 показывают места нахождения 'весьма старых' подземных вод, которые пополнялись в условиях более влажного климата тысячи лет тому назад.

I. Радиационная технология

I.1. Производство радиоизотопов

112. Проблемы обеспечения надежных поставок апробированных радиоизотопов для устойчивых медицинских и промышленных применений, а также разработки новых видов продукции, удовлетворяющих появляющимся новым требованиям, остаются актуальными во всем мире. Наряду с промышленностью, этими проблемами активно занимается ряд национальных центров в государствах-членах. Из числа почти 25 – 30 млн. процедур диагностической визуализации, выполненных в 2006 году, на долю процедур с использованием технеция-99m и фтора-18 по-прежнему приходилось соответственно порядка 80% и 10%. В случае продукции для радионуклидной терапии, растущая популярность более легко и широко производимого лютеция-177 и новая система генерации иттрия-90, основанная на электрохимическом разделении со стронцием-90, – это два заметных события в 2007 году. Еще одним важным событием в 2007 году является рост в некоторых государствах-членах интереса к созданию новых установок для производства молибдена-99 с использованием НОУ мишеней. Важное совещание всех заинтересованных сторон, участвующих в настоящее время в производстве данного радиоизотопа, состоялось в декабре 2007 года в Сиднее, Австралия. Оно было организовано совместно Национальным управлением по ядерной безопасности (ННСА) министерства энергетики США и Австралийской организацией по ядерной науке и технике (АНСТО). В докладе совещания были определены все аспекты, которые необходимо учитывать, и помощь, которая требуется для содействия использованию технологии мишеней из НОУ таким образом, чтобы это не сказалось на поставках молибдена-99 и тем самым привело к сокращению применения ВОУ для крупномасштабного производства этого изотопа. В Австралии в 2008 году предполагается начать крупномасштабное регулярное производство молибдена-99 с использованием мишеней из НОУ.

I.2. Природные полимеры

113. Природные полимеры существуют во многих формах, и многие из них могут быть подвергнуты радиационной обработке с целью получения ценных продуктов (см. Рис. I-1). К таким природным полимерам относятся крахмал (в картофеле и зерне), целлюлоза (в растениях и деревьях), хитин (в креветках, крабах и омарах), альгинаты (в морских водорослях) и полипептиды, такие, как шелк, кератин и волосы. Эти природные полимеры нетоксичны, разлагаются микроорганизмами и их можно получать с низкими затратами. Радиационная обработка является чистым и не вносящим примесей методом создания новых, более ценных материалов на основе этих природных полимеров. Например, продукция из хитина может использоваться в качестве гидрогелевых повязок на раны, не вызывающих пролежни постельных матрацев, очищающих кожу лица косметических масок, устройств для доставки лекарственных препаратов и адсорбентов загрязняющих веществ, таких, как ионы металлов, красители, белки, твердые частицы и другие. Продукты с низким молекулярным весом обладают особыми свойствами антибиотиков, антиоксидантов и агентов, активизирующих рост растений.

114. Радиационная обработка природных полимеров становится перспективной областью, поскольку уникальные характеристики полимерных материалов могут быть использованы для практических применений в медицине, косметике, сельском хозяйстве, биотехнологии и охране окружающей среды.



Рис. I-1: Радиационная обработка природных полимеров

I.3. Опасные биоагрессоры

115. Использование ионизирующих излучений для инактивации микробов является апробированной технологией в областях обеспечения гигиены пищевых продуктов, лучевой стерилизации изделий медицинского назначения и биологических тканей и, в более крупных масштабах, обработки шлама сточных вод. В последнее время было продемонстрировано использование радиационной технологии для снижения угрозы, создаваемой биологическими загрязнителями, такими, как сибирская язва в почтовых отправлениях. Результаты показывают полезность использования ионизирующих излучений для противодействия таким угрозам, как преднамеренное распространение биологических загрязнителей¹⁸. Основные преимущества использования радиационной технологии по сравнению с другими методами заключаются в способности обеспечивать обработку материалов в самых различных масштабах – от малых до самых больших, и в том, что единственным параметром, который необходимо контролировать, является доза, воздействующая на целевой объект/зону. Представленные до настоящего времени результаты показывают, что в будущих разработках следует учесть некоторые дополнительные аспекты, например, аспекты обращения и обработки загрязненных продуктов и обучения работе в полевых условиях.

I.4. Автоматизированное компьютерное отслеживание радиоактивных частиц

116. Метод под названием "автоматизированное компьютерное отслеживание радиоактивных частиц" (CARPT) стал признанным методом исследования сложных многофазных потоков (например, газа и жидкости) в химической, нефтехимической и биоинженерной отраслях промышленности. В методе CARPT используются небольшая гамма-излучающая частица

¹⁸ E.K. Noji, "Bioterrorism: A 'New' Global Environment Health Threat," *Global Change & Human Health*, Vol. 2, No. 1, 2001, pp. 46–53

радиоиндикатора такой плотности и размеров, что она увлекается исследуемой фазой, и ряд детекторов гамма-излучения, особым образом расположенных вокруг химического реактора и способных отслеживать положение частицы и таким образом надежно регистрировать перемещение фазы.

117. Метод отслеживания является неинвазивным и позволяет определять динамические параметры конкретной представляющей интерес фазы. Полученные данные о структуре, скорости, турбулентности и других параметрах потока помогают оптимизировать процессы на уровне экспериментальной установки и, в свою очередь, предоставляют информацию для принятия решений относительно окончательной конструкции узлов реальной установки¹⁹. Метод CARPT будет применяться прежде всего в нефтехимической промышленности, где используются псевдооживленные слои и барботажные колонны, и при производстве продукции на основе биопроцессов.

118. Еще один усовершенствованный метод предусматривает использование для отслеживания частиц радиоиндикаторов, испускающих позитроны. Этот метод под названием "отслеживание частиц, испускающих позитроны" (PEPT), обладает дополнительным преимуществом, заключающимся в регистрации совпадений излучения позитронной аннигиляции, что обеспечивает повышенную точность отслеживания частицы радиоиндикатора даже в системах с высокоскоростным потоком, обычно входящих в состав некоторых промышленных систем. Общая цель применения CARPT и PEPT сводится к обеспечению более высокой производительности и эффективности промышленных технологических процессов²⁰.

¹⁹ S. Bhusarapu1, M.H. Al-Dahhan and M.P. Dudukovic, "Solids Flow Mapping in a Gas-solid Riser: Mean Holdup and Velocity Fields," *Powder Technology*, Vol. 163 (1-2), 2006, pp 98–123

²⁰ S. Bakalis, P.W. Cox, A.B. Russell, D.J. Parker and P.J. Fryer, "Development and Use of Positron Emitting Particle Tracking (PEPT) for Velocity Measurements in Viscous Fluids in Pilot Scale Equipment", *Chemical Engineering Science*, Vol. 61(6), 2006, pp 1864–1877