

Генеральная конференция

GC(48)/INF/4

Date: 21 July 2004

General Distribution

Russian

Original: English

Сорок восьмая очередная сессия

Пункт 16 предварительной повестки дня
(GC/48/1)

Обзор ядерных технологий – 2004

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат представляет всеобъемлющий *Обзор ядерных технологий* каждые два года с краткими обновлениями в промежуточные годы. Настоящий доклад представляет собой третий всеобъемлющий обзор, содержащий глобальную перспективу развития ядерных технологий, а также энергетических и неэнергетических применений.
- *Обзор ядерных технологий - 2004* рассматривает следующие вопросы: основы ядерного развития; энергетические применения; применения, касающиеся продовольствия, воды и здоровья; применения, связанные с экологическими и устойчивыми промышленными процессами; и социально-экономические факторы ядерной энергетики и ядерных применений. Дополнительная документация, имеющая отношение к *Обзору ядерных технологий – 2004*, помещена только на английском языке на веб-сайте Агентства IAEA.org: по исследовательским реакторам, нынешнему состоянию ядерной энергетики, первым 50 годам развития ядерной энергетики, усовершенствованным и инновационным технологиям ядерной энергетики, молекулярной диагностике, радиоизотопной и радиационной технологии, ядерному опреснению и по социально-экономическим факторам ядерных применений.
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы насколько возможно учесть конкретные замечания Совета и другие замечания, полученные от государств-членов.

Содержание

A.	Основы ядерного развития	1
	A.1. Ядерные, атомные и молекулярные данные	1
	A.2. Исследовательские реакторы, ускорители и радиоизотопы.....	2
B.	Энергетические применения	3
	B.1. Ядерная энергетика сегодня	3
	B.2. Будущее развитие	8
	B.2.1. Среднесрочные прогнозы	8
	B.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата	9
	B.2.3. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	11
C.	Применения, касающиеся продовольствия, воды и здоровья.....	12
	C.1. Ядерные методы для улучшения сельскохозяйственных культур.....	12
	C.2. Ядерные методы для защиты сельскохозяйственных культур.....	13
	C.3. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	14
	C.4. Безопасность пищевых продуктов	15
	C.5. Устойчивое рациональное использование земли и водных ресурсов	16
	C.6. Водные ресурсы	16
	C.7. Здоровье человека.....	17
	C.7.1. Питание.....	17
	C.7.2. Ядерная медицина	18
D.	Применения, касающиеся окружающей среды и устойчивых промышленных процессов	19
	D.1. Охрана морской и земной сред	19
	D.1.1. Морская среда.....	19
	D.1.2. Земная среда.....	20
	D.2. Радиационная технология для чистых и безопасных отраслей промышленности... 22	
	D.2.1. Ядерные аналитические методы	22
	D.2.2. Ядерное опреснение	23
E.	Социально-экономические аспекты ядерной энергетики и ядерных применений	24

Обзор ядерных технологий – 2004

Доклад Генерального директора

А. Основы ядерного развития

А.1. Ядерные, атомные и молекулярные данные

1. Для поддержания жизнеспособности и высокой репутации широкого спектра ядерных технологий необходим легкий доступ к атомным, молекулярным и ядерным данным высокого качества. На Агентство возложена центральная роль в создании и поддержании обширных баз данных, охватывающих библиографическую информацию, теоретические и экспериментальные данные, а также в регистрации оцененных атомных и ядерных данных. Международные связи продолжают оставаться прочными и поддерживаются с целью удовлетворения потребностей и обеспечения целостности различных программ; например, консультации и рекомендации по атомным и молекулярным данным предоставляет Подкомитет по атомным и молекулярным данным (А+М) Международного совета по термоядерным исследованиям, а аналогичные руководящие материалы по ядерным данным вырабатывает Международный комитет по ядерным данным.

2. Потребности, связанные с новыми ядерными технологиями, продолжают определять направление(я) развития будущей работы в области получения данных, включая потребности, связанные с инновационными топливными циклами, системами с использованием ускорителей, ядерным сжиганием (трансмутацией ядерных отходов), термоядерными устройствами, диагностическими и терапевтическими медицинскими процедурами с использованием излучения, оптимизацией производства медицинских изотопов, неразрушающими испытаниями материалов, радиационными аналитическими методами (например, нейтронно-активационным анализом и анализом с помощью ионного пучка), разведкой минералов и обнаружением наземных мин.

3. Некоторые недавние научно-технические разработки по данным, касающиеся разных применений, включают в себя поисковый механизм для А+М данных, позволяющий производить одновременный поиск данных в ряде различных источников как для числовых, так и для библиографических баз данных в помощь проектировщикам; устройство для выполнения А+М теоретических расчетов в режиме реального времени, позволяющее пользователю получать новые данные при работе с теоретическими моделями путем запуска

соответствующих кодов на сайтах институтов, которые поддерживают эти коды; библиотеку данных по мощностям излучения и балансу ионизации для плазм, представляющих интерес в исследованиях по термоядерному синтезу, и библиотеку данных по стандартным сечениям реакции, которые позволяют уменьшить неопределенности в относительных измерениях сечения и таким образом внесут значительный вклад в запланированные усовершенствования новых библиотек данных, касающихся ионов.

А.2. Исследовательские реакторы, ускорители и радиоизотопы

4. На протяжении более 50 лет исследовательские реакторы вносили ценный вклад в развитие ядерной энергетики, фундаментальные науки, разработку новых материалов, производство радиоизотопов для медицины и промышленности, в образование и профессиональную подготовку. Они остаются основными экспериментальными инструментами. По состоянию на июнь 2004 года в Базе данных по исследовательским реакторам МАГАТЭ (RRDB) зарегистрировано 673 исследовательских реактора, 274 из которых находятся в эксплуатации в 56 странах (85 в 39 развивающихся странах), 214 реакторов остановлены, 168 - выведены из эксплуатации и 16 – планируется построить или находится в стадии сооружения.

5. На многих из остановленных, но не выведенных из эксплуатации реакторах все еще находится топливо – как свежее, так и отработавшее – на территории площадки. Длительный срок между окончательной остановкой и снятием с эксплуатации будет влиять как на затраты, так и на безопасность во время проведения работ по выводу из эксплуатации главным образом вследствие утраты опытного персонала (который стареет за время остановки), требующегося для выполнения работ по снятию с эксплуатации.¹

6. Недостаточное использование исследовательских реакторов вызывает озабоченность во многих государствах-членах. Тем не менее многие исследовательские реакторы, находящиеся в эксплуатации, широко используются как на национальном, так и международном уровне для производства радиоизотопов, пучковых исследований, промышленных применений, нейтронного облучения и специальных применений. Кроме того, строятся новые многоцелевые и одноцелевые исследовательские реакторы.

7. Считается, что использование топлива из высокообогащенного урана (ВОУ) характеризуется потенциальной угрозой распространения. К настоящему времени 31 исследовательский реактор был полностью переведен на низкообогащенный уран (НОУ). Семь других исследовательских реакторов были частично переведены, в то время как другие ожидают перевода на низкообогащенный уран. Большую озабоченность вызывает отсутствие аттестованного высокоплотного топлива, подходящего для перевода на НОУ некоторых конкретных исследовательских реакторов. Серьезное внимание уделяется проблеме использования НОУ вместо ВОУ в качестве материала мишени в производстве изотопов для медицинских применений.

¹ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

8. Ускорители заряженных частиц – это мощные инструменты, пригодные для множества применений, таких, как зонды для анализа физических, химических и биологических проб; модификация ионными пучками поверхностей и материалов для улучшения требуемых свойств; производство радиоизотопов; радиационная обработка материалов и радиотерапия рака. Растет спрос на синхротронное излучение и высококачественные импульсные нейтронные пучки, получаемые от источников нейтронов скалывания, для использования в исследованиях материалов.

9. Широко используются разнообразные радиоизотопы (свыше 150 в различных формах), преимущественно реакторного происхождения. Интенсивно оцениваются в целях разработки радиофармпрепаратов радионуклиды, пригодные для радиотерапии и легко производимые в исследовательских реакторах, такие, как ^{177}Lu . Кроме того, проводятся исследования небольших закрытых источников на ^{125}I и ^{103}Pd для лечения опухолей простаты и глаза. Радиоиндикаторы в позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), получаемые на медицинских циклотронах, в частности F-18-фтородезоксиглюкоза (ФДГ), обеспечивают все более значительный эффект, главным образом в онкологии.

В. Энергетические применения

В.1. Ядерная энергетика сегодня²

10. “Энергия, произведенная путем расщепления атома, является весьма слабой в своем роде. Всякий, кто ожидает получить источник энергии от преобразования этих атомов, является фантазером.” Лорд Эрнест Резерфорд, 1933 год.

11. “Не будет большим преувеличением ожидать, что наши дети будут пользоваться в своих домах чрезвычайно дешевой [произведенной на АЭС] электроэнергией.” Льюис Страусс, председатель Комиссии по атомной энергии США, 1954 год.

12. Прошло полвека, и мы теперь знаем, что истина находится где-то посередине между этими двумя крайностями³.

² Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

³ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

Таблица В-1. Ядерные энергетические реакторы в эксплуатации и в стадии строительства в мире (по состоянию на 31 декабря 2003 года)

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии строительства		Электроэнергия АЭС, поставленная в 2003 году		Суммарный опыт эксплуатации к декабрю 2003 г.	
	Число энерго-блоков	Суммарно МВт (эл.)	Число энерго-блоков	Суммарно МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	7,03	8,59	50	7
АРМЕНИЯ	1	376			1,82	35,48	36	3
БЕЛЬГИЯ	7	5 760			44,61	55,46	191	7
БОЛГАРИЯ	4	2 722			16,04	37,71	129	2
БРАЗИЛИЯ	2	1 901			13,34	3,65	25	3
ВЕНГРИЯ	4	1 755			11,01	32,69	74	2
ГЕРМАНИЯ	18	20 643			157,44	28,10	648	0
ИНДИЯ	14	2 550	8	3 622	16,37	3,30	223	5
ИРАН, ИСЛАМ. РЕСПУБЛИКА			2	2 111			0	0
ИСПАНИЯ	9	7 584			59,36	23,64	219	2
КАНАДА	16	11 323			70,29	12,53	486	11
КИТАЙ	8	5 977	3	2 610	41,59	2,18	39	1
КОРЕЙСКАЯ НАР.-ДЕМ. РЕСП.			1	1 040			0	0
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	19	15 850	1	960	123,28	40,01	220	8
ЛИТВА	2	2 370			14,30	79,89	36	6
МЕКСИКА	2	1 310			10,51	5,23	23	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	449			3,80	4,48	59	0
ПАКИСТАН	2	425			1,81	2,37	35	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	30	20 793	3	2 825	138,39	16,54	761	4
РУМЫНИЯ	1	655	1	655	4,54	9,33	7	6
СЛОВАКИЯ	6	2 442	2	776	17,86	57,35	100	6
СЛОВЕНИЯ	1	656			4,96	40,45	22	3
СОЕДИНЕН. ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	98 298			763,74	19,86	2 871	8
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	27	12 052			85,31	23,70	1 329	8
УКРАИНА	13	11 207	4	3 800	76,70	45,93	279	10
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 656			21,82	27,32	99	4
ФРАНЦИЯ	59	63 363			420,70	77,68	1 346	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 548			25,87	31,09	74	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			25,93	39,73	143	10
ШВЕЦИЯ	11	9 451			65,50	49,62	311	1
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			12,66	6,05	38	3
ЯПОНИЯ	53	44 139	3	3 696	230,80	25,01	1 123	7
Всего	439	361 094	31	25 387	2524,03		11 143	5

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

- 6 энергоблоков, 4884 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока, 2600 МВт (эл.) в стадии строительства;
- 37,37 ТВт·ч выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 21,5% суммарной электроэнергии, произведенной в 2003 году;
- 134 года и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации.

13. Ядерная энергетика обеспечивала 16% глобального производства электроэнергии в 2002 году, и по состоянию на 31 декабря 2003 года в мире эксплуатировалось 439 энергоблоков АЭС (см. таблицу В-1). Их глобальный коэффициент эксплуатационной готовности постоянно повышался с 74,2% в 1991 году до приблизительно 84% в 2003 году. В 2003 году к энергосетям были подключены две новых АЭС, корпусной тяжеловодный реактор (PHWR) мощностью 665 МВт (эл.) в Китае и корпусной водо-водяной реактор (PWR) мощностью 960 МВт (эл.) в Республике Корея. Кроме того, Канада вновь запустила в эксплуатацию два энергоблока, которые были ранее остановлены. Было начато строительство новой АЭС в Индии. В СК были остановлены четыре энергоблока мощностью 50 МВт (эл.), и были выведены из эксплуатации один энергоблок мощностью 640 МВт (эл.) в Германии и один энергоблок мощностью 148 МВт (эл.) в Японии.

14. В настоящее время расширение мощностей и перспективы роста сосредоточены в Азии. Восемнадцать из 31 реактора, находившегося в стадии строительства⁴ на конец 2003 года, расположены в Индии, Китае, Корейской Народно-Демократической Республике, Республике Корея и Японии. Двадцать один из последних 30 реакторов, которые будут подключены к энергосетям, находятся на Дальнем Востоке и в Южной Азии.

15. В Западной Европе используемые мощности, вероятно, будут оставаться относительно постоянными, несмотря на свертывание выработки электроэнергии на АЭС в Бельгии (которая в январе 2003 года приняла закон о постепенном выводе из эксплуатации АЭС), Германии и Швеции. Наиболее значительные результаты в планировании ввода новых мощностей АЭС - в Финляндии. В 2003 году энергопредприятие "Teollisuuden Voima Oy" выбрало Олкилуото в качестве площадки для пятого финского реактора и подписало контракт с консорциумом компаний "Framatome ANP" - "Siemens" на строительство европейского реактора с водой под давлением мощностью 1600 МВт (эл.). Заявка на получение лицензии на строительство реактора была представлена финскому правительству в январе 2003 года.

16. В Российской Федерации "РОСЭНЕРГОАТОМ" продолжил осуществление своей программы по продлению лицензий для одиннадцати АЭС. В 2003 году российский ядерный регулирующий орган – Госатомнадзор – выдал лицензию на продление срока эксплуатации первого энергоблока Кольской АЭС еще на пять лет. Болгарские регулирующие органы выдали новую лицензию на десять лет для четвертого энергоблока АЭС "Козлодуй" - это первая долгосрочная лицензия в Болгарии, и затем выдали аналогичную лицензию на продление срока эксплуатации третьего энергоблока АЭС "Козлодуй" на восемь лет. Румыния, где возобновление лицензии требуется каждые два года, одобрила продление эксплуатации АЭС "Чернаводэ" до 2005 года.

17. В 2003 году Комиссия по ядерному регулированию США (КЯР) одобрила девять продлений лицензии на 20 лет каждое (при этом суммарный лицензированный срок эксплуатации составил 60 лет для каждой АЭС), в результате чего общее количество одобренных продлений лицензии достигло девятнадцати к концу года. Она также одобрила восемь повышений мощности в целом на 401 МВт (тепл.). Три компании подали заявки в КЯР для получения новых первоначальных разрешений на площадки, которые могут быть зарезервированы для будущего использования. В Канаде увеличение в ближайшей перспективе выработки электроэнергии будет происходить за счет возобновления эксплуатации некоторых или всех восьми энергоблоков АЭС (из общего количества 22 в Канаде), которые были закрыты в последние годы. Первые два таких возобновления эксплуатации - четвертого энергоблока АЭС "Пиккеринг А" и четвертого энергоблока АЭС "Брюс А" - были осуществлены в

⁴ Общая цифра включает также Тайвань, Китай.

2003 году. Одновременно для четырех энергоблоков лицензии были продлены до 2005 года, а для восьми энергоблоков - до 2008 года.

18. Ключевые вопросы, которые будут влиять в ближайшее время на расширение ядерного сектора, - это экономика, безопасность и сохранность, отходы и устойчивость с точки зрения нераспространения.

19. **Экономика:** Структуры АЭС с высокой стоимостью на начальном этапе обуславливают то, что существующие амортизированные, хорошо работающие станции могут быть весьма прибыльными, в то время как новые АЭС часто являются более дорогостоящими по сравнению с альтернативными вариантами. Однако экономическая привлекательность различна в случае разных стран, инвесторов и рынков. Новые АЭС наиболее привлекательны там, где рост энергетического спроса является быстрым, альтернативные ресурсы недостаточны, надежность энергоснабжения является приоритетом или ядерная энергетика важна для сокращения загрязнения воздушной среды и выбросов ПГ. АЭС также более привлекательны для государственных инвесторов, ответственных за безопасность (надежность) энергоснабжения, выбросы ПГ и долгосрочное развитие, чем для частных инвесторов, которым требуется быстрая отдача и которые не извлекают никакой финансовой пользы от низких выбросов ПГ в ядерной энергетике или повышения безопасности (надежности) энергоснабжения. Таким образом, в дерегулированных рынках Запада с более медленным ростом новые АЭС обычно являются менее привлекательными. Ожидая вступления в силу Киотского протокола, Европа создает рынок выбросов ПГ, и будущие инвесторы могут, таким образом, представить себе ощутимую пользу, которую они получают от низких выбросов ПГ в ядерной энергетике. США исследуют альтернативные пути корректирования стимулов рынка в ближайшей перспективе с целью содействия расширению ядерного сектора в соответствии с долгосрочной Национальной энергетической политикой США.

20. **Безопасность и сохранность:** Хотя авария, произошедшая на Чернобыльской АЭС, все еще сказывается на ядерной энергетике, текущие показатели безопасности отрасли значительно улучшились. Статистика за 2003 год Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих АЭС, указывает на стабильно низкое число незапланированных автоматических остановов на уровне одной трети от числа, зарегистрированного в начале 1990-х годов, и на продолжающееся сокращение уже низкого числа промышленных аварий. Однако остаются задачи, в рамках которых необходимо обеспечить эксплуатацию ядерных установок во всем мире в соответствии с наивысшими уровнями безопасности, улучшить 'планирование преемственности' в атомной промышленности, обеспечить, чтобы уроки, извлеченные в одной стране, эффективно и тщательно доводились до сведения всех стран и чтобы эти уроки учитывались в практике эксплуатации и регулирования всех соответствующих ядерных установок. Более детальная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности* Агентства.

21. Меры, имеющие отношение к потенциальным угрозам, связанным с ядерным и радиационным терроризмом, приобрели новое актуальное значение. Во всем мире АЭС укрепили свои подразделения, обеспечивающие безопасность, ввели дополнительные барьеры и другие защитные меры в соответствии с новым пониманием рисков, связанных с физической безопасностью. Агентство значительно расширило масштаб и объем своей деятельности в области обеспечения физической ядерной безопасности. Важно понять, как аспекты безопасности и сохранности связаны друг с другом при определении и обеспечении защиты уязвимых мест на ядерных установках. Агентство все чаще просит предоставлять руководящие материалы относительно того, как можно совместить транспарентность в вопросах ядерной и радиационной безопасности с необходимостью сохранять конфиденциальность с точки зрения

обеспечения безопасности. Эффективное управление риском будет включать достижение баланса, обеспечивающего защиту и сохранность секретных сведений, при этом вопросы безопасности должны по-прежнему решаться транспарентным образом и уроки, извлеченные в отношении как безопасности, так и сохранности, должны распространяться и использоваться в интересах всего ядерного сообщества.

22. Отработавшее топливо и отходы: Как показано на рисунке В-1, запасы отработавшего топлива (ОЯТ) растут вследствие ограничений в переработке и задержек в захоронении. Что касается высокоактивных отходов, то наибольший прогресс на установках по захоронению достигнут в США, Финляндии и Швеции. Правительство и парламент Финляндии одобрили решение 'в принципе' в отношении строительства хранилища для окончательного захоронения отработавшего топлива в районе Олкилуото. Потребуется также отдельные лицензии на строительство и эксплуатацию. Строительство должно начаться в 2011 году и эксплуатация – в 2020 году. Швеция начала проведение детальных геологических исследований на двух площадках-кандидатах. Они должны продлиться пять или шесть лет, и шведская компания «СКВ», занимающаяся обращением с ядерным топливом и отходами, надеется представить окончательное предложение по площадке примерно к 2007 году. Экспериментальная установка по изоляции отходов в США начала принимать военные трансураниевые отходы в 1999 году для окончательного захоронения в пластовой соли. В 2002 году президент и Конгресс США приняли решение продолжить сооружение площадки для захоронения "Юкка Маунтин", начало осуществления операций на которой запланировано на 2010 год.

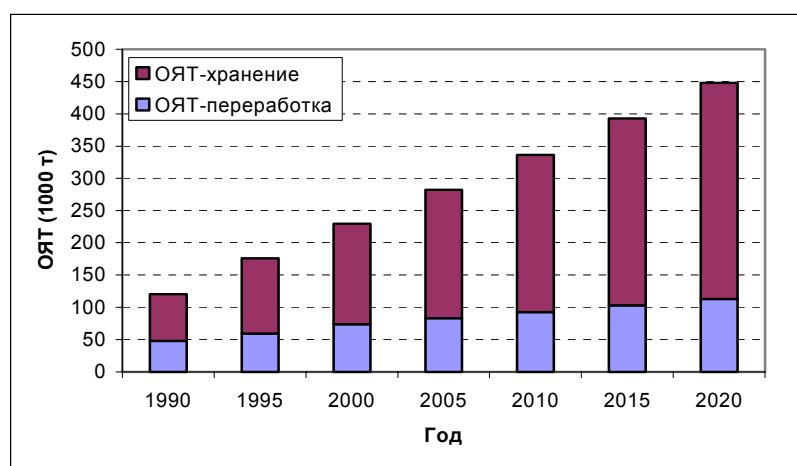


Рис. В-1. Совокупные объемы переработки и хранения отработавшего топлива в мире, 1990-2020 годы.

23. В настоящее время основной акцент делается на создании национальных хранилищ, но при этом возобновился интерес к возможному строительству региональных или международных хранилищ. Одна из причин этого интереса заключается в отмеченном ниже стремлении расширить международный контроль в отношении ядерного материала в качестве усилий, направленных на укрепление глобального режима нераспространения. Другая причина – это реальность того, что в случае стран, не имеющих хороших площадок для отходов или имеющих небольшие исследовательские и энергетические программы, индивидуальные национальные площадки для захоронения не имеют никакого экономического смысла.

24. Устойчивость с точки зрения нераспространения: Устойчивость с точки зрения нераспространения - это свойство ядерно-энергетической системы, которое препятствует переключению или незаявленному производству ядерного материала, или использованию не по назначению технологии с целью приобретения ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств. Степень устойчивости с точки зрения нераспространения является результатом сочетания, в частности, конструктивных технических решений, эксплуатационных режимов, институциональных механизмов и мер в области гарантий. Совсем недавно, в частности, в контексте продолжающейся работы по инновационным реакторам и топливным циклам повышенное внимание стало уделяться вопросу о *внутренне присущих* характеристиках устойчивости с точки зрения нераспространения, т.е. характеристикам, которые являются результатом инженерно-технического проектирования ядерно-энергетических систем, а также *внешним* мерам по обеспечению устойчивости с точки зрения нераспространения, т.е. мерам, которые являются результатом принимаемых государствами решений и обязательств, имеющих отношение к ядерно-энергетическим системам. Продолжающаяся работа над реакторами новых типов и топливными циклами включает во всех случаях соображения, касающиеся таких средств и мер достижения устойчивости с точки зрения нераспространения, которые помогают обеспечивать положение, при котором будущие ядерно-энергетические системы будут по-прежнему оставаться непривлекательными средствами для приобретения материалов для программы создания ядерного оружия.

В.2. Будущее развитие

В.2.1. Среднесрочные прогнозы

25. Каждый год Агентство публикует обновленные среднесрочные прогнозы развития ядерной энергетики, и в 2003 году они впервые были продлены до 2030 года (см. таблицу В-2). Низкий прогноз по существу не предполагает сооружения новых АЭС сверх того, что уже строится или твердо запланировано к строительству сегодня, плюс вывод из эксплуатации старых АЭС. Прогноз был пересмотрен в сторону повышения оценок в 2003 году и предусматривает 20%-ное увеличение глобальной выработки электроэнергии на АЭС в период до конца 2020 года (против 2%-ного увеличения в прогнозе, опубликованном в прошлом году) и в последующем уменьшение выработки, что приведет к производству электроэнергии на АЭС в мире в 2030 году, которое будет всего лишь на 12% больше, чем в 2002 году. Доля ядерной энергетики в глобальном производстве электроэнергии снижается после 2010 года до 12% в 2030 году против 16% в 2002 году. Рост наиболее существенен на Дальнем Востоке, и самое большое снижение прогнозируется в Западной Европе.

Таблица В-2. Оценки суммарной выработки электроэнергии и вклада ядерной энергетики

Группа стран	2002 г.			2010 г.			2020 г.			2030 г.		
	Всего электр. ТВт.ч	АЭС		Всего электр. ТВт.ч	АЭС		Всего электр. ТВт.ч	АЭС		Всего электр. ТВт.ч	АЭС	
		ТВт.ч	%		ТВт.ч	%		ТВт.ч	%		ТВт.ч	%
Северная Америка	4779	851,1	17,8	5034 5444	874 894	17 16	5784 6709	870 939	15 14	6451 8146	844 944	13 12
Латинская Америка	1078	28,6	2,7	1178 1427	29 38	2,5 2,7	1628 2291	47 50	2,9 2,2	2227 3758	30 92	1,3 2,4
Западная Европа	3084	880,2	28,5	3352 3609	858 893	26 25	3634 4687	823 961	23 20	3942 6061	564 1090	14 18
Восточная Европа	1758	298,5	17,0	1884 2074	319 399	17 19	2174 2867	423 552	19 19	2463 4133	378 611	15 15
Африка	459	12,0	2,6	538 612	13 14	2,5 2,3	699 973	14 24	2,0 2,4	876 1530	14 60	1,6 3,9
Средний Восток и Южная Азия	1176	19,6	1,7	1342 1626	41 47	3,1 2,9	1805 2596	53 100	3,0 3,9	2327 3946	70 194	3,0 4,9
Юго-Восточная Азия и район Тихого океана	600			736 786			934 1119	5,5	0,5	1162 1584	18	1,2
Дальний Восток	3157	484,3	15,3	3399 4296	695 702	20 16	4199 6605	855 1125	20 17	5073 9630	981 1361	19 14
Всего в мире	низкая оценка высокая оценка	16090 2574,2	16,0	17463 19873	2830 2987	16 15	20857 27848	3085 3756	15 13	24520 38989	2881 4369	12 11

26. В высоком прогнозе глобальная выработка электроэнергии на АЭС постоянно растет и в общей сложности увеличивается на 46% в период до 2020 года (представленный здесь прогноз ничем не отличается от прошлогоднего высокого прогноза) и на 70% в период до 2030 года. Рост происходит во всех регионах, и снова впереди Дальний Восток. Однако общее производство электроэнергии растет быстрее, чем ядерная энергетика, что приводит к тому, что доля ядерной энергетика в суммарном производстве электроэнергии снижается. К 2030 году доля ядерной энергетика уменьшится до 11%.

В.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата

27. В долгосрочном плане ключевой вопрос – это то, насколько долго хватит ядерных ресурсов. Известных традиционных ресурсов будет достаточно на несколько десятилетий, если исходить из текущих уровней потребления, как показано в таблице В-3, хотя период, в течение которого ресурсы будут достаточными, уменьшается с предполагаемым ростом ядерной энергетика в будущем. Как показано также в таблице, неразведанные традиционные ресурсы могут увеличить период, в течение которого ресурсы являются достаточными, до нескольких сотен лет, если будут сделаны необходимые (и существенные) инвестиции в изыскания и разработки. *Нетрадиционные* ресурсы, включая запасы фосфатов и морскую воду, содержат огромные количества урана в очень разбавленном виде, и их использование сможет обеспечить топливом ядерную энергетика в течение тысячелетий, если будут разработаны усовершенствованные методы экстракции. Пока из морской воды были извлечены лишь лабораторные количества, и прогнозируемая стоимость будет приблизительно в пять-десять раз выше стоимости добываемого традиционными методами урана. Прежде, чем эти ресурсы могут стать доступными, потребуются значительные усилия и инвестиции.

Таблица В-3: Ресурсная обеспеченность (количество лет) различных ядерных технологий⁵

Ректор/топливный цикл	Количество лет при глобальной выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2002 года с использованием традиционных ресурсов (1)	Количество лет при глобальной выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2002 года с использованием всех традиционных ресурсов (2)	Количество лет при глобальной выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2002 года с использованием всех ресурсов (3)
Применяемый в настоящее время топливный цикл (LWR, однократный)	85	270	8 200
Топливный цикл с рециклированием (только плутоний, один рецикл)	100	300	9 200
Легководные и быстрые реакторы (смешанные с рециклированием)	130	410	12 000
Чистый топливный цикл быстрых реакторов с рециклированием	2 500	8 500	240 000

1) Известные традиционные ресурсы включают все категории стоимости достоверно определенных запасов (RAR) и оцененных дополнительных запасов - категория I (EAR-I) и в общей сложности составляют 4 588 700 т U.⁶

2) Все традиционные ресурсы включают все категории стоимости достоверно определенных запасов, оцененных дополнительных запасов и предположительных запасов и в общей сложности составляют 14 382 500 т U.

3) Общий объем запасов предполагает наличие традиционных ресурсов 14 382 500 т U плюс 90% фосфатных ресурсов в объеме 22 000 000 т U (= 19 800 000 т U), плюс 10% расчетных урановых ресурсов в морской воде в объеме 4 000 000 000 т U (= 400 000 000 т U) и в общей сложности составляют 434 182 500 т U.

28. Запасы тория в земной коре в три раза превышают запасы урана. Природный торий по существу на 100% состоит из тория-232, который не является делящимся. Он, однако, является воспроизводящим, поглощая медленные нейтроны и становясь делящимся торием-233. Таким образом, использование в будущем ториевого топливного цикла для выработки электроэнергии из этих ресурсов может значительно продлить жизненный цикл глобальных ядерных ресурсов.

29. Ядерная энергия, а также возобновляемые источники энергии смогут удовлетворить большую долю растущих мировых энергетических потребностей благодаря разработке транспортных средств на водородных топливных элементах и развитию других водородных применений. Водород можно производить из воды, используя электроэнергию, - основной продукт ядерной энергетики и возобновляемых технологий, таких, как ветровая энергетика. Экономичный процесс преобразования наряду с экономичными технологиями распределения водорода и конечного использования позволит ядерной энергии и возобновляемым источникам энергии обеспечить топливом транспортный сектор, который в настоящее время на 95% работает на нефти, и расширять вклад ядерной энергетики в промышленное теплоснабжение. Осуществляется работа в рамках новых крупных исследовательских инициатив по водороду, в частности, в Европе, Китае, США и Японии. Все эти инициативы также включают инновационные ядерные системы, позволяющие получать водород в более прямой форме без необходимости вначале производить электроэнергию.

⁵ Агентство по ядерной энергии ОЭСР и Международное агентство по атомной энергии, *Уран-2003: Ресурсы, производство и спрос*, ОЭСР, Париж, 2004.

⁶ Полные определения RAR и EAR-I даны в публикации «Уран-2003: Ресурсы, производство и спрос». Если характеризовать кратко, то RAR используется для обозначения урана в известных месторождениях, извлекаемого посредством современных технологий. EAR-I - это уран в дополнение к RAR, наличие которого предполагается, исходя из прямых геологических данных.

30. В 2003 году не было достигнуто прогресса в связи с Киотским протоколом, который может способствовать тому, что предотвращение выбросов ПГ, которое обеспечивает ядерная энергетика, станет важным фактором для частных инвесторов. После Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию (ВВВУУР) в 2002 году проведение крупных дискуссионных форумов по энергетике и устойчивому развитию не планируется вплоть до тринадцатой сессии Комиссии по устойчивому развитию ООН (КУР) в 2006-2007 годах. ВВВУУР одобрила ранее принятые решения КУР по ядерной энергии. Они сводятся к тому, что страны «соглашаются не согласиться» в отношении того, что ядерная энергетика вносит важный вклад в процесс устойчивого развития, и в то же время они все соглашаются с тем, что выбор остается за конкретными странами.

В.2.3. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы⁷

31. С целью решения проблем, стоящих в настоящее время перед ядерной энергетикой, как указано в разделе В.1, многие страны работают над повышением экономичности, безопасности и устойчивости с точки зрения нераспространения усовершенствованных систем 'реактор-топливный цикл'. Что касается усовершенствованных конструкций АЭС, то усилия сосредотачиваются на создании станций, более простых в эксплуатации, инспектировании, техническом обслуживании и ремонте. В ближайшей перспективе большинство новых АЭС, вероятно, будут иметь эволюционную конструкцию, основывающуюся на апробированных системах, при этом будут применяться технологические достижения и часто будет достигаться экономия, обусловленная ростом масштабов производства. В долгосрочном плане особое внимание уделяется инновационным конструкциям, некоторые из которых имеют характеристики в диапазоне от малой до средней мощности (до 700 МВт (эл.)). Они предполагают осуществление строительства с использованием заводских элементов, включая полные модульные блоки для быстрого монтажа на площадке, что будет обеспечивать возможности для экономии за счет серийного производства вместо экономии, обусловленной ростом масштабов производства. Другие преимущества, связанные с менее мощными энергоблоками, включают более легкое финансирование, большую пригодность для небольших энергосетей или удаленных районов и потенциальную возможность их использования для централизованного теплоснабжения, опреснения морской воды и других неэлектрических применений. Все это должно увеличивать их привлекательность для развивающихся стран.

32. Важные работы по большим эволюционным конструкциям LWR осуществляются в Германии, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, США, Франции и Японии. Основные работы по эволюционным конструкциям LWR малой и средней мощности ведутся в Китае, Российской Федерации, США, Франции и Японии. *Инновационные* конструкции LWR (т.е. конструкции, которые включают в себя радикальные концептуальные изменения в подходах к конструкции или конфигурации системы) разрабатываются в Аргентине, Республике Корея, Российской Федерации, США и Японии.

33. Индия и Канада работают над конструкциями усовершенствованного тяжеловодного реактора, и ряд конструкций усовершенствованного газоохлаждаемого реактора разрабатывается с участием Германии, Китая, Российской Федерации, СК, США, Франции, Южной Африки и Японии. По реакторам на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем опытно-конструкторские работы осуществляются в Индии, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, Франции и Японии. Опытные-конструкторские работы по реакторным системам на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем -

⁷ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

свинцовым сплавом и натрием - и по газоохлаждаемым реакторам на быстрых нейтронах (с гелиевым охлаждением) осуществляются в рамках Международного форума "Поколение IV" (МФП) и в Российской Федерации. Исследования по гибридным системам на спектре быстрых нейтронов (например, систем с использованием ускорителя) осуществляются в Республике Корея, Российской Федерации, США и восьми странах ЕС.

34. Многие инициативы, упомянутые выше, дополняют два крупных международных мероприятия по содействию инновациям - МФП и международный проект Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО). Членами МФП являются Аргентина, Бразилия, Канада, Республика Корея, СК, США, Франция, Швейцария, Южная Африка, Япония и Евратом. МФП рассмотрел широкий круг инновационных концепций и в 2002 году выбрал шесть типов реакторных систем для будущего двустороннего и многостороннего сотрудничества: газоохлаждаемые реакторы на быстрых нейтронах, реакторы с жидкометаллическим теплоносителем - свинцовым сплавом, реакторы на солевых расплавах, натриевые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем, надкритические водоохлаждаемые реакторы и сверхвысокотемпературные газовые реакторы.

35. Участниками проекта ИНПРО Агентства являются Аргентина, Болгария, Бразилия, Германия, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Республика Корея, Нидерланды, Пакистан, Российская Федерация, Турция, Швейцария и Европейская комиссия. В 2003 году в рамках ИНПРО опубликован первоначальный отчет, который кратко характеризует потенциал ядерной энергетики и определяет руководящие принципы и методологию оценки инновационных концепций. В настоящее время проводится работа по подтверждению пригодности этой методологии посредством пробного применения в серии предметных исследований.

36. Многие нынешние экспериментальные и теоретические исследования в области управляемого ядерного синтеза сосредоточены на проекте Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). Стадия 'работ по инженерному проектированию' ИТЭР завершена, и проект приблизился к этапу принятия решения по выбору площадки. В 2003 году к проекту присоединились три новых члена - Китай, Республика Корея и США (США ранее вышли из ИТЭР в 1999 году), и они теперь вместе с ЕС, Российской Федерацией и Японией являются участниками проекта. Предлагаемые площадки находятся в двух странах - Франции и Японии.

37. Продолжаются также исследования по другим подходам, использующим магнитное удержание, и работы по инерциальному удержанию интенсивно проводятся в рамках национальных программ в США и во Франции. Строительство Национальной установки для термоядерного зажигания в США намечено завершить в 2008 году.

С. Применения, касающиеся продовольствия, воды и здоровья

С.1. Ядерные методы для улучшения сельскохозяйственных культур

38. Ядерные методы играли и продолжают играть значительную роль в улучшении сельскохозяйственных культур. Применения различны, но основные направления работы - это: улучшение зародышевой плазмы сельскохозяйственных культур посредством индуцированной

мутации; разработка генетических маркеров для генетического фингерпринтинга, генетического картирования и диагностики посредством ряда методов, включающих радиомечение ДНК-маркеров; и открытие гена посредством целенаправленного мутагенеза.

39. Индуцированные мутации, вызванные гамма-излучением, рентгеновским излучением, быстрыми нейтронами или химическими реагентами, обеспечили достижение некоторых крупных успехов в селекции растений. Во многих случаях новые фенотипы, такие, как полукарлики риса и ячменя, революционизировали сельскохозяйственные культуры. Мутантные сорта масличных культур и бобовых в настоящее время передаются для коммерческого культивирования. Более тонкие, однако одинаково важные изменения были достигнуты в отношении характеристик стойкости к болезням и вредителям, питательного и технологического качества. Селекционерами растений были получены и использовались полезные мутанты: 2316 официально зарегистрированных мутантных сортов внесены в списки более чем 160 видов растений во всем мире (База данных по мутантным сортам ФАО/МАГАТЭ).

40. Усовершенствование методов скрининга привело к возрождению применения радиационно-индуцированных мутаций. Например, в Зайберсдорфе были получены солеустойчивые мутанты риса путем облучения гамма-лучами. Отбор был облегчен за счет проведения экспресс-испытаний с помощью гидропоники, в которых производилась селекция среди 2000 семян. Были отобраны четыре мутанта и проведена проверка на солеустойчивость в полевых условиях. Мутантные линии не имеют никаких неблагоприятных признаков, и селекционеры риса в Международном научно-исследовательском институте риса активно проводят селекционную работу с ними. Предполагаемая площадь использования солеустойчивых сортов риса в Азии оценивается в 618 000 га.

41. Информационный взрыв в изучении последовательностей ДНК привел к переходу в генетических исследованиях от структурных исследований к функциональным. Функция гена - теперь основной объект исследований в генетике. Мутанты являются основным элементом в этих исследованиях, поскольку они обеспечивают экспресс-скрининг для систематического выявления и функционального анализа генов. TILLING (введение индуцированных локальных повреждений в геномах) является одним из таких методов; это - метод обратной генетики, в котором можно систематически производить скрининг больших мутантных популяций с использованием данных о последовательности ДНК.

С.2. Ядерные методы для защиты сельскохозяйственных культур

42. В последние годы метод стерильных насекомых (МСН) проявил себя как более экономически эффективная технология подавления популяций плодовой мухи, способная конкурировать по стоимости с традиционными методами подавления популяций, основанными на применении инсектицидов.

43. Одно из наиболее актуальных достижений - это создание линий с генетическим определением пола (ЛГОП), таких, как однополые (только самцы) линии средиземноморской мухи с температурно-чувствительной летальной (*tsl*) мутацией, которые позволили сократить наполовину затраты на транспортировку и выпуск и увеличить эффективность стерильных самцов в полевых условиях по меньшей мере в три раза. Использование только мужских (однополых) линий - теперь норма в использовании МСН для борьбы со средиземноморской мухой, и страны, которые приобрели потенциал разведения средиземноморской мухи для этого метода, теперь включили ЛГОП в процессы массового производства насекомых.

44. Согласно проведенной оценке, потенциальный спрос на стерильную средиземноморскую муху только в средиземноморском бассейне составляет по меньшей мере 4 миллиарда стерильных самцов в неделю, что приближается к общему количеству насекомых, производимых в настоящее время во всем мире. Постоянные усовершенствования и новые научные разработки предвещают многообещающее будущее для применения МСН в борьбе со множеством видов вредителей, наносящих экономический ущерб, таких, как ложная плодовая яблонная, плодовая яблонная, финиковая моль, коробочные черви и различные другие насекомые-вредители, включая бататовых долгоносиков. Кроме того, по-прежнему основное внимание в исследованиях и разработках будет сконцентрировано на разработке линий с генетическим определением пола для других основных насекомых-вредителей, с тем чтобы повысить экономическую эффективность технологии МСН.

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

45. Ликвидация мясной мухи с использованием МСН во всей Северной и Центральной Америке при общих затратах около 1 млрд. долл., согласно оценке, обеспечит годовые выгоды животноводству в этом регионе, которые превышают общие инвестиции в кампанию по ликвидации, сделанные более чем за 45 лет. В Африке, однако, переносимый мухой цеце трипаносомоз делает введение в практику продуктивных систем смешанного хозяйства - растениеводство в сочетании с животноводством - невозможным. Общие потери из-за трипаносомоза в сельскохозяйственном валовом внутреннем продукте стран в Африке к югу от Сахары, пораженных мухой цеце, оцениваются в 4,75 млрд. долл. в год.

46. Были определены согласованные на международном уровне приоритетные сферы сельскохозяйственного развития, где меры вмешательства, направленные на борьбу с цеце и трипаносомозом, включая компонент с применением МСН, как ожидается, обеспечат быстрые, ощутимые и устойчивые выгоды в контексте сельскохозяйственного развития и экологически безопасного использования ресурсов. Международное взаимодействие в этих приоритетных направлениях наиболее успешно развивается в эфиопской южной части Восточно-Африканской зоны разломов, где предварительные анализы "затраты-выгоды" дают прогноз достижения точки самоокупаемости выгод по отношению к сделанным инвестициям через 5-6 лет и внутренней ставки дохода за 12-летний период между 33% и 43%. Арабская организация сельскохозяйственного развития, ФАО и Агентство продолжают сотрудничать в осуществлении совместного регионального проекта по технико-экономическому обоснованию метода в борьбе против европейских мясных мух в регионе Западной Азии.

47. Исследования, направленные на улучшение животноводства и ветеринарии в развитом мире, были революционизированы последними достижениями в биотехнологии, в частности методами, связанными с генными технологиями. Эти разработки позволяют при помощи новых и инновационных подходов находить уникальные решения как новых, так и старых проблем.

48. В животноводстве определение характеристик геномов сельскохозяйственных животных позволит проводить идентификацию выгодных генов, таких, которые, например, являются ответственными за естественную устойчивость к болезням или способность хорошо расти в условиях климатического или питательного стресса. Гибридизация и связанные с ней методы, которые используют ³²P- и другие изотопные маркеры вместе с неизотопными молекулярными методами для идентификации генов, микросателлитов и локусов количественных признаков, позволят производить отбор и селекцию стойких животных, что обеспечит улучшение или замену традиционных методов борьбы с болезнями.

49. Наряду с новыми разработками по-прежнему широко используются более 'зрелые' ядерные технологии, такие, как радиоиммуноанализ (РИА), в котором используется ^{125}I для измерения гормонов и метаболитов в крови или молоке животных. РИА для определения гормона прогестерона является незаменимым инструментом, который позволяет получить информацию об имеющихся проблемах при управлении процессами размножения, которое осуществляют фермеры, так и о недостатках в услугах по искусственному осеменению, которые предоставляют государственные, кооперативные или частные организации. РИА является также дешевым и надежным методом обнаружения вредных остатков в пищевых продуктах животного происхождения, таких, которые, например, возникают в результате неправильного использования ветеринарных препаратов.

50. Молекулярная диагностика вступила в интересную фазу в ветеринарии, позволяя повысить чувствительность и специфичность испытаний для обнаружения болезней животных. Важная цель, которая ставится перед многими диагностическими приборами - способность выполнять анализы по месту лечения для обеспечения быстрого и точного обнаружения патогенов. Усовершенствование приборов и их ввод в практику позволят применять в развивающихся странах такие технологии, как "секвенирование генов с $^{35}\text{S}/^{32}\text{P}$ -фосфовизуализацией". Развитие событий в микротехнологии, микрожидкостной технологии и нанотехнологии является многообещающим и может привести к получению более чувствительных, быстрых и надежных устройств, которые будут способны работать в разнообразных условиях. Устройства типа "лаборатория на чипе" обеспечивают способность интегрировать обработку образцов, целевую амплификацию и обнаружение в одном миниатюрном устройстве. Результатом применения таких технологий будет разработка диагностических наборов, основанных на биочипах, способных обнаруживать многочисленные возбудители инфекций (т.е. антигены) или присутствие патогенов (т.е. антител) путем проведения одного высокочувствительного, специфического и быстрого анализа. Их адаптация к полевым применениям, несомненно, будет революционизировать диагностику, профилактику и борьбу с болезнями сельскохозяйственных животных, приносящими большой урон в развивающихся странах⁸.

С.4. Безопасность пищевых продуктов

51. В настоящее время во всем мире более 33 стран используют облучательные установки для обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов и для выполнения карантинных правил в торговле, включая мясные продукты, свежие фрукты, специи и сухие овощные приправы.

52. 26-я сессия Комиссии по Codex Alimentarius (Рим, Италия, 30 июня - 7 июля 2003 года) приняла *Пересмотренный общий стандарт Комиссии по Codex Alimentarius для облученных пищевых продуктов* и *Рекомендуемый международный кодекс практики для радиационной обработки продуктов питания* Комиссии по Codex Alimentarius в качестве окончательных текстов Codex Alimentarius. Кроме того, 5-я сессия Временной комиссии по фитосанитарным мерам (ВКФМ) (Рим, Италия, 7-11 апреля 2003 года), управляющий орган Международной конвенции по защите растений (МКЗР), приняла *Руководящие принципы использования облучения в качестве фитосанитарной меры*. Codex Alimentarius и нормы МКЗР имеют статус правовых документов в соответствии с Соглашением ВТО/СФС.

⁸ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

53. Потребность в ядерных методах, используемых для обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов и для аттестации и стандартизации приемлемых для развивающихся стран недорогих методов анализа содержания загрязнителей и остатков в пищевых продуктах, будет расти. Координированные усилия в этих областях будут укреплять продовольственную безопасность и обеспечивать содействие развитию международной торговле пищевыми продуктами посредством комплексного подхода, охватывающего всю пищевую цепочку.

С.5. Устойчивое рациональное использование земли и водных ресурсов

54. На ВВВУУР, состоявшейся в Йоганнесбурге в сентябре 2002 года, было подтверждено, что деградация земель является одной из основных глобальных проблем окружающей среды и устойчивого развития в XXI веке. Агентство сосредоточило свое внимание на использовании радионуклидных индикаторов, в частности ^{137}Cs , для выполнения количественных оценок почвенной эрозии и отложений на сельскохозяйственных ландшафтах, которые обеспечат получение ретроспективной информации о среднесрочной (30-40 лет) скорости эрозии и интенсивности отложения и пространственных моделей перераспределения почв без необходимости применять долгосрочные программы мониторинга. В настоящее время свыше 40 исследовательских групп способны проводить эти исследования.

55. Программа ФАО/МАГАТЭ активно участвует в дальнейших исследованиях и разработках по комплексному применению ^{137}Cs вместе с другими природными радионуклидами, такими, как ^{210}Pb и ^7Be , с тем чтобы оценить эрозию и скорости седиментации и модели в нескольких пространственно-временных шкалах. Такая информация окажется ценной для определения перспективных мер по охране почв с целью борьбы с почвенной эрозией и седиментацией и смягчения последствий этих процессов и разработки стратегий устойчивого управления водосбором и охраны окружающей среды.

56. Всемирный форум по водным ресурсам, состоявшийся в Киото, Япония, в марте 2003 года, признал наличие проблемы, заключающейся в настоятельной необходимости эффективно повысить продуктивность использования воды растениями и эффективность использования воды в сельском хозяйстве. Проводятся исследования по применению ядерных методов для разработки практических инструментов и рекомендаций с целью повышения продуктивности воды в различных хозяйственных и климатических условиях и отбора растений, которые можно эффективно выращивать в подверженной засухе среде. Выявлена потенциальная возможность использования метода дискриминации изотопов углерода в качестве ценного инструмента для определения толерантных к засухе генотипов.

С.6. Водные ресурсы

57. Более глубокое понимание гидрологического цикла планеты широко признано в качестве одного из основных элементов научной информации, необходимой для разработки политики, направленной на устойчивое управление ресурсами пресной воды. Применение изотопов в гидрологии путем использования природных 'изотопных отпечатков пальцев' воды, помогает обеспечивать оперативное получение гидрологической информации для обширных территорий при низких затратах.

58. В изотопной гидрологии обычно используется двенадцать изотопов или изотопных пар, при этом наиболее часто используемыми являются стабильные изотопы кислорода и водорода. Тритий и гелий-3 все шире используются для датирования возраста молодых подземных вод, что отражает доминирующую роль подземных вод в удовлетворении спроса на пресную воду во всем мире.

59. Изотопные методы на постоянной основе применяются для оценки ресурсов подземных вод, проводимой Службой геологоразведки США (USGS), где в большинстве региональных программ анализа систем водоносных горизонтов используются изотопные методы для оценки пополнения запасов подземных вод. Аналогичные примеры применения изотопов в управлении ресурсами подземных вод можно найти в Австралии, Германии, Индии, Соединенном Королевстве, Франции и в ряде других стран. Недавно применение изотопов для управления ресурсами поверхностных вод и улучшения понимания влияния изменений климата на водные ресурсы получило дальнейшее развитие благодаря проведению всеобъемлющего исследования изотопных составов наиболее крупных рек США. Свыше семнадцати исследовательских групп, принимающих участие в проекте координированных исследований Агентства, в настоящее время разрабатывают глобальную сеть изотопного мониторинга на больших реках.

60. Данные по изотопному составу осадков, собранные через национальные и глобальные сети станций мониторинга, открыли новые возможности в разработке моделей глобальной циркуляции атмосферы (МГЦА), которые используются для реконструкции палеоклиматических условий в поддержку исследований глобальных изменений. Соответствующие институты в Германии, Соединенных Штатах Америки и Франции в последнее время расширили использование данных об изотопном составе осадков, с тем чтобы можно было лучше представлять и проверять моделирование гидрологических процессов в МГЦА. Модели, основанные на изотопных данных, позволили улучшить понимание процессов, и считается, что они более надежно моделируют прошлые климатические условия.

61. Свыше 250 участников из 69 стран недавно обсудили вопрос о прошлом, настоящем и будущем применения изотопов в гидрологии и исследованиях климата на симпозиуме, созванном Агентством в 2003 году. На этом симпозиуме был сделан вывод, что применение изотопов по-прежнему будет оставаться важным инструментом в управлении ресурсами подземных вод и, вероятно, окажется решающим в усилиях, направленных на понимание и прогнозирование климатических и атмосферных процессов. Эта важная роль изотопов в понимании изменения климата в прошлом также является ключом к прогнозированию будущих изменений - изменений, которые могут оказывать влияние не только на глобальные температуры, но также и на энергетические потребности, обеспеченность питьевой водой и продовольственную безопасность.

С.7. Здоровье человека

С.7.1. Питание

62. Некоторые обычные методы, используемые для оценки состояния здоровья и питания, могут быть инвазивными, неточными и не отражающими незначительные изменения, и их применение на местах может быть сопряжено с трудностями. Альтернативные ядерные и изотопные методы все больше и больше рассматриваются в качестве важнейших средств в прикладной диетологии и исследованиях. Изотопная технология доказала свою эффективность в разработке программ и рекомендаций, нацеленных на борьбу со многими формами недостаточного питания. К основным методам относятся метод изотопного разбавления для анализа композиционного состава тела; метод воды с двойной меткой для исследования

энергетического обмена; определение биодоступности минеральных микроэлементов с использованием стабильных изотопов; определение сохранения в организме витамина А; двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия для измерения плотности костных минералов; и дыхательный тест с применением ^{13}C для выявления инфекции.

С.7.2. Ядерная медицина

Диагностические применения

63. Функциональные исследования в ядерной медицине с визуализацией и без визуализации делают возможными диагностические и научно-исследовательские применения вводимых внутрь открытых источников радиоактивности. Происходит также рост терапевтических применений. Эти методы используются в ряде специальных областей, таких, как кардиология, онкология, нефрология, неврология, инфекционные заболевания и генетика.

64. **Ядерная медицинская визуализация и функциональные исследования без визуализации:** Гамма-камеры и СПЕКТ (однофотонная эмиссионная компьютерная томография) используются на постоянной основе в клинической медицине, обеспечивая получение как статической, так и динамической информации, позволяющей проводить диагностику и прогноз болезней, определение функции органов и получать ценные данные о реагировании на лечение. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) стала мощным инструментом, используемым для диагностики болезни на раннем этапе, определения ее степени тяжести и реагирования на лечение, оценки остаточной болезни после лечения, выработки прогноза и понимания биомолекулярного поведения. ПЭТ делает быстрые успехи в развитых странах, однако сложность и стоимость этого метода ограничивают его рутинное клиническое применение в большинстве развивающихся стран.

65. Использование гамма-зондов для обнаружения и биопсии сигнального лимфатического узла революционизировало лечение больных в хирургической онкологии и изменило концепцию лечения злокачественных меланом и раковых заболеваний груди и толстой кишки.

66. **Молекулярные методы ядерной медицины:** Молекулярные методы находят применение в экспресс-скрининге и диагностике болезней, патогенезе, выработке терапевтических решений, контроле и борьбе с болезнями, эпидемиологических исследованиях, иммунологии, фармакогеномике и в молекулярном проектировании новых лекарственных средств и вакцин. Основа этих методов – это амплификация патогенно-специфической последовательности генов посредством полимеразной цепной реакции, которая используется для обнаружения мутаций, ответственных за лекарственную устойчивость в случае малярии и туберкулеза, а также субтипирования ВИЧ и создания вакцин против него.

67. **Радиофармакология и радиоиммунология:** Радиофармакология занимается вопросами кинетики радиоиндикаторов и разработки и оценки различных радиофармпрепаратов. Введение в практику новых радиоиндикаторов и инновационных применений может оказать значительное воздействие на услуги в сфере здравоохранения, как, например, в онкологии, кардиологии и борьбе с инфекциями.

68. Медицинский радиоиммуноанализ и связанная с ним иммунология представляют собой значительный компонент диагностической системы *in vitro* для количественного измерения изменений в белках, а также других важных промежуточных метаболитов в состоянии болезни, особенно в развивающихся странах. Они также используются в опытных работах, проводимых с целью исследования новых методов в случае подачи патентных заявок, а также являются прекрасным стандартным эталоном, используемым для проверки неизотопных анализов.

Терапия

69. **Брахитерапия с высокой мощностью дозы:** В последние годы брахитерапия с высокой мощностью дозы (ВМД) стала весьма важным компонентом лечения рака шейки матки. В отличие от брахитерапии с низкой мощностью дозы, которая традиционно использовалась, но аппаратура которой могла обеспечивать лечение лишь 2-3 пациентов в неделю, ВМД позволяет проводить лечение большого числа пациентов каждый день наряду с беспрецедентными возможностями оптимизации дозы излучения.

70. **Профилирование генов и протеинов:** геномная и протеомная революция, произошедшая в биологии и медицине, привела к тому, что недавно появились крупномасштабные микрорешетки, которые способны анализировать многие тысячи генов или протеинов за короткий отрезок времени. Эта технология открывает большие перспективы для предварительной селекции будущих пациентов и/или раковых заболеваний с учетом реакции на излучение.

71. **Терапия стволовыми клетками:** Радиотерапия давно используется как часть подготовительного режима для трансплантации костного мозга. Новейшие исследования позволяют предположить, что радиотерапия в сочетании с клеточной трансплантацией или трансплантацией стволовых клеток может также играть ценную роль в регенерации других органов, таких, как печень, поджелудочная железа и центральная нервная система.

Дозиметрия и медицинская радиационная физика

72. Надлежащее измерение ионизирующих излучений (дозиметрия) является чрезвычайно важным в обеспечении безопасного и эффективного использования ядерных технологий для целей диагностики и лечения пациентов. На симпозиуме, недавно организованном Агентством в Вене, свыше 250 участников из 62 стран обсудили актуальные вопросы дозиметрии. Было подготовлено более 90 рекомендаций в отношении будущей работы, в которых внимание акцентируется на необходимости: расширения подготовки работников здравоохранения по вопросам предоставления инфраструктурных услуг; обеспечения наличия соответствующего и доступного с финансовой точки зрения оборудования для поддержания диагностических и терапевтических технологий; и разработки физических стандартов, сравнений и проверок программ обеспечения и контроля качества для подтверждения безопасности и эффективности применения ядерных технологий в отношении пациентов.

D. Применения, касающиеся окружающей среды и устойчивых промышленных процессов

D.1. Охрана морской и земной сред

D.1.1. Морская среда

73. Защита морской среды и управление океанскими ресурсами являются особенно сложными и трудными задачами. Наиболее важное значение имеет защита важных с социально-экономической точки зрения прибрежных зон, поблизости от которых проживает 40% населения мира и которые обеспечивают получение основной части морепродуктов во всем мире.

74. Среди наиболее важных проблем, связанных с прибрежной окружающей средой, - здравоохранение и вопросы безопасности, здоровье экосистем, эвтрофикация (перенасыщение удобрениями, ведущее к кислородному голоданию), вредное цветение воды и другие проблемы, такие, как прибрежные наводнения и изменения уровня моря. Явления "вредного цветения воды, вызванного развитием водорослей" (ВЦВ), приводят к широким экономическим последствиям для рыболовства и морепродуктовых отраслей и туризма. Ядерные методы, применяемые в рецепторсвязывающем анализе в качестве аналитического инструмента, помогают осуществлять борьбу с распространяющимся ВЦВ, требующую использования быстрых, высокочувствительных и недорогих проб, которые являются чувствительными к низким концентрациям токсинов.

75. Благодаря своим характеристикам радиоактивного распада некоторые природные радионуклиды являются отличными геохронологическими средствами для датирования последовательности образования слоев отложений в некоторых морских районах. Знание хронологии процессов седиментации помогает устанавливать временные тенденции поведения загрязняющих веществ в морской среде. Разнообразные радиоизотопы, используемые в качестве аналогов тяжелых металлов, и особенно гамма-излучатели являются полезными инструментами для отслеживания переноса, поведения и судьбы загрязнителей (тяжелых металлов) в воде, отложениях и морских организмах в лабораторных условиях.

D.1.2. Земная среда

Предотвращение выбросов загрязняющих веществ

76. Кислые загрязняющие вещества, такие, как сера и окислы азота, образуются во время сгорания органического топлива, что приводит к появлению кислотных дождей и образованию смога. Электронные лучи модифицируют серу и окислы азота в отходящих газах и позволяют им реагировать с добавленным аммиаком с целью получения чистых отходов и удобрений. Главное преимущество радиационной обработки состоит в том, что токсичные соединения преобразуются в полезную и безопасную продукцию. Установки для электронно-лучевой обработки отходящих дымовых газов эксплуатируются на электростанциях, работающих на угле, в Китае и Польше (в обоих случаях очистка отходящих дымовых газов энергоблоков мощностью 100 МВт (эл.)) с высокой эффективностью удаления SO_x и NO_x . Ядерные технологии, включая применение электронных пучков, электромагнитного излучения или изотопных источников, также используются для очистки от загрязнений и дезинфекции водных отходов (эффлюентов), коммунальных сточных вод, промышленных сточных вод и осадка сточных вод и обеспечивают уничтожение вредных и токсичных органических веществ и микроорганизмов. Для удаления хлорированных углеводородов из питьевой воды была разработана комбинированная технология, в которой используются электронные лучи и озон. Другая технология позволяет производить радиационную очистку биологического осадка сточных вод, образующегося в результате биологической очистки сточных вод, что обеспечивает использование в конечном счете осадка сточных вод в качестве удобрения.

Мониторинг и исследования окружающей среды

77. Ядерные методы и измерения также широко применяются для мониторинга и исследований окружающей среды с использованием природных и искусственных радионуклидов в качестве индикаторов в исследованиях атмосферных, земных и морских процессов переноса.

78. Использование радионуклидных методов в геохронологии революционизировало понимание современных процессов седиментации в водных экосистемах. Методы, основанные на применении ^{210}Pb и $^{87/86}\text{Sr}$, используются в качестве инструментов количественного анализа в геохронологии морских и озерных отложений. Кроме того, ^{137}Cs и другие природные и антропогенные радионуклиды, сильно абсорбированные на почвенной поверхности и присутствующие в очень низких, но все еще измеримых концентрациях, используются для изучения явлений почвенной эрозии и почвенных отложений.

Разминирование в рамках гуманитарных операций

79. Наземные мины, оставшиеся от прошлых и нынешних вооруженных конфликтов, продолжают подвергать опасности население более чем 60 стран в развивающемся мире. Типичная противопехотная наземная мина содержит очень небольшое количество металла, и, следовательно, ее трудно обнаружить обычными средствами, используемыми для обнаружения металла. Очень чувствительные металлодетекторы могут обнаруживать наземные мины с низким содержанием металла, но они не могут отличать мины от других небольших, заглубленных металлических объектов, таких, как шрапнельные осколки. Ядерный метод, основанный на опросе нейтронами, - один из немногих методов, которые позволяют проводить неинтрузивный элементный анализ заглубленных объектов, обнаруживая содержание водорода при наличии миного взрывного устройства. Прибор на базе импульсного электростатического нейтронного генератора (PELAN, Pulsed Elemental Analysis by Neutrons - элементный анализ с использованием импульсных потоков нейтронов) для проведения разминирования в рамках гуманитарных операций был использован в качестве основного объекта масштабных исследований и представляется перспективным. Испытания показали, что устройство PELAN может надежно обнаруживать противотанковые мины, имеющие заряд 5-6 кг ТНТ и находящиеся под слоем земли толщиной 15 см, и противопехотные мины с зарядом 200 г ТНТ, находящиеся под землей на глубине 5 см. В случае обнаружения более мелких противопехотных мин однозначного вывода достичь не удалось, и необходимо провести доработку по пределам обнаружения. Для достижения полного успеха в полевых применениях устройство PELAN должно быть интегрировано с соответствующим прибором для обнаружения аномалий, например металлоискателем или устройством для подповерхностной радиолокации. Кроме того, были разработаны ручные приборы на основе использования обратного рассеяния нейтронов для обнаружения пластмассовых наземных мин в сухой местности. Эти приборы были проверены в условиях, приближенных к полевым, и предполагается, что устройства такого типа будут использоваться в операциях по разминированию в сочетании с металлоискателем для обнаружения пластмассовых наземных мин.

D.2. Радиационная технология для чистых и безопасных отраслей промышленности⁹

80. Для промышленных, экологических, медицинских или исследовательских применений в распоряжении имеется целый ряд разнообразных ядерных методов. Радиационные и изотопные технологии, такие, как гамма-облучение, применение электронных лучей или ионных пучков, а также контрольно-измерительные приборы, основанные на ядерных технологиях, радиоактивные индикаторы и закрытые источники, неразрушающий контроль и ядерные аналитические методы, используются для управления процессами, в модификации материалов, для сокращения вредных промышленных выбросов, обработки потоков отходов и во многих других применениях.

81. Помимо достигаемого экономического эффекта радиационные и радиоизотопные применения оказывают значительное воздействие на различные аспекты социального и промышленного развития, например в здравоохранении (лучевая стерилизация изделий медицинского назначения, облучение крови и трансплантатов); охране окружающей среды (электронно-лучевая очистка отходящих дымовых газов и сточных вод, гигиенизация осадка сточных вод гамма-излучением); чистой и безопасной промышленности (радиоиндикаторные испытания на утечку и неразрушающий контроль установок, труб, резервуаров); повышении качества продукции (ядерные аналитические методы, неразрушающий контроль); оптимизации процессов (радиоактивные индикаторы и ядерные управляющие системы); разведке и добыче сырья (обработка данных в режиме реального времени, каротаж скважин) и обеспечении безопасности (инспекция грузов, облучение почвы).

82. В настоящее время во всем мире имеется свыше 160 промышленных гамма-облучательных установок, при этом 65 установок находится в развивающихся странах. Более чем 20% этих гамма-облучательных установок имеют активность свыше 1 МКи. Общее количество ускорителей во всем мире превышает 13 000. Новые экологические применения требуют разработки надежных ускорителей большой мощности, и наиболее мощная установка для радиационной обработки, имеющая суммарную мощность свыше 1 МВт, была построена в Польше для очистки отходящих дымовых газов электростанции.

83. Нанотехнология, которая является относительно новой областью, использует электронно-лучевую технологию для некоторых применений, таких, как литография. Нанометрические структуры уже были испытаны, и другие возможные применения связаны с проводящими и многофазными полимерами.

84. В промышленности и в области охраны окружающей среды радиоактивные индикаторы являются очень ценными инструментами во многих процессах, например, на нефтяных месторождениях и нефтеперерабатывающих заводах, в химических и металлургических отраслях промышленности и на установках водоочистки. Наиболее часто в качестве индикаторов применяются радиоизотопы ^3H , ^{82}Br , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{140}La , ^{24}Na и ^{131}I .

D.2.1. Ядерные аналитические методы

85. Ядерные аналитические методы играют значительную роль в сертификации содержания элементов в разнообразных материалах и особенно важную роль в международной торговле, поскольку для продовольственных товаров должны соблюдаться установленные законодательством пределы и аналитические результаты должны базироваться на взаимном

⁹ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

признании, которое достигается, если лаборатории работают в соответствии с принятыми на международном уровне стандартами качества, такими, как ИСО 17025. Новые тенденции в ядерных применениях проявляются в разработке надежных, автоматизированных и переносных приборов, которые могут использоваться в лабораторных, а также и в полевых условиях. Ядерные методы также служат делу сохранения культурного наследия человечества. Нейтронно-активационный анализ – это очень чувствительный мультиэлементный анализ для "снятия отпечатков пальцев" микроэлементов с тем, чтобы можно было отличить оригинальные экземпляры от фальшивок, и применяется для анализа монет и других металлических артефактов, камней, глиняной посуды и керамики.

D.2.2. Ядерное опреснение¹⁰

86. Заинтересованность в технологиях опреснения на основе использования ядерных методов обусловлена растущим глобальным спросом на пресную воду и разработками реакторов малой и средней мощности, которые могут стать более подходящими для опреснения воды, чем энергетические реакторы большой мощности. В области ядерного опреснения Япония накопила свыше 125 реакторо-лет опыта и Казахстан – 26 реакторо-лет перед тем, как реактор на быстрых нейтронах в Актау был закрыт в 1999 году. Египет завершил проведение технико-экономического обоснования комбинированной ядерной установки (для производства электроэнергии и воды) на площадке в Эд-Даба. Франция завершила совместное европейское исследование по разработке реакторов для ядерного опреснения (проект EURODESAL). Индия осуществляет монтаж гибридной - на основе многостадийной дистилляции (МСД) и обратного осмоса (ОО) - ядерной демонстрационной опреснительной установки производительностью 6300 м³/сут в Калпаккаме. Установка ОО пущена в эксплуатацию, и полный ввод в эксплуатацию станции ожидается в 2004 году. Канада завершила проведение функциональных испытаний процесса обратного осмоса с предварительным подогревом и рассматривает возможность осуществления предкоммерциализационной демонстрационной программы. Китай выполнил предварительное технико-экономическое обоснование проекта Шаньдунской ядерной установки для опреснения морской воды в районе Янтай на основе использования реактора NHR-200, и Индонезия проводит предварительное исследование по экономическому обоснованию ядерного опреснения на острове Мадуро. В Республике Корея в 2002 году завершено базовое проектирование в соответствии с концепцией SMART, и был начат шестилетний проект строительства экспериментальной установки SMART-P в масштабе 1:5 для проверки интегрального функционирования системы SMART и ядерного опреснения. Пакистан продолжает работать над созданием демонстрационной ядерно-опреснительной установки производительностью 4800 м³/сут, которая будет подсоединена к реактору PHWR на АЭС "КАНУПП". В Российской Федерации продолжают работы над проектом плавучей атомной теплоэлектростанции на базе судовых реакторных технологий. В 2005-2006 годах планируется начать строительство первой станции на севере европейской части России. Входящий в состав станции плавучий энергоблок с двумя реакторами КЛТ-40-С планируется для использования в качестве источника энергии для ядерно-опреснительных комплексов. Тунис планирует проведение технико-экономического обоснования проекта специальной ядерно-опреснительной установки для условий конкретной площадки.

¹⁰ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.

Е. Социально-экономические аспекты ядерной энергетики и ядерных применений

87. Ядерные технологии и методы обеспечивают производство энергии, делают наше продовольствие более безопасным и более изобильным, помогают предотвращать, диагностировать и лечить болезни, оптимизировать устойчивое водопользование и защищать окружающую среду. Ядерные методы уже внесли значительный вклад и способны вносить гораздо большую лепту в решение проблем в ключевых областях, являющихся предметом озабоченности международного сообщества, которые были определены Всемирной встречей на высшем уровне по устойчивому развитию в 2002 году в Йоганнесбурге - водные ресурсы, энергетика, здравоохранение, сельское хозяйство и биоразнообразие.

88. Их воздействие на будущие поколения необходимо понять, поскольку они влияют на ресурсы общества, его учреждения, его общественное знание, человеческий капитал, произведенный капитал и естественный капитал. Во все более глобализованном мире вклад, вносимый на национальном или региональном уровне, может также приносить пользу всему глобальному сообществу, а не только какому-либо одному обществу. На национальном и региональном уровнях ядерные науки и применения – это основные этапы на пути к технологически передовому обществу. Все страны пользуются преимуществами, которые обеспечивают ядерные применения, особенно в здравоохранении. Их использование резко возрастает по мере социального, технологического и экономического развития стран, однако значительные социально-экономические выгоды могут быть получены на всех уровнях развития. Для реализации этих выгод радиационные методы необходимо должным образом внедрять в основную экономическую деятельность, такую, как сельское хозяйство, здравоохранение и энергетика¹¹.

89. Необходимы точные оценки связанных с ними затрат, выгод и рисков, и требуется постоянное проведение оценки в целях обеспечения того, чтобы выгоды, получаемые от ядерных применений, достигались в тех областях, где использование атома является оправданным. Основные выгоды уже определены и доступны для реализации как развитым, так и развивающимся странам. Инвестиции в создание требующейся технической, научной и регулирующей инфраструктуры могут окупиться относительно быстро даже при том, что в случае некоторых аспектов, возможно, потребуются много лет для достижения завершённой стадии. Передача Агентством знаний и технологий в целях создания кадрового, регулирующего, технического и научного потенциала в ядерной области – это важная деятельность, осуществляемая в интересах социально-экономического развития, однако ее необходимо проводить в увязке с неядерными методами с учетом 'добавленной стоимости' или сравнительной экономической эффективности. Методы оценки необходимо адаптировать для соответствующих ядерных или изотопных применений, и путем проведения исследований следует определить реалистичные граничные условия для оценок социально-экономического эффекта в целях обеспечения их достоверности. Проблемы, связанные с правильной оценкой воздействия ядерных наук и применений, являются масштабными, однако полученные результаты могут обеспечить лицам, принимающим решения в процессе выбора ядерных применений, базу для выработки четких обоснований в отношении экономических и социальных аспектов.

¹¹ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе 'Обзор ядерных технологий – 2004'.