

Пятьдесят первая очередная сессия

Пункт 17 предварительной повестки дня
(GC(51)/1)

Обзор ядерных технологий - 2007

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат представляет всеобъемлющий *Обзор ядерных технологий* ежегодно, и в настоящем докладе освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2006 году.
- В *Обзоре ядерных технологий - 2007* рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, атомные и ядерные данные, применения ускорителей и исследовательских реакторов, применения радиоизотопов и радиационная технология, ядерные методы в областях продовольствия и сельского хозяйства, здоровья человека, а также водных ресурсов и окружающей среды. Дополнительная информация, связанная с *Обзором ядерных технологий 2007 года*, имеется на сайте www.iaea.org на английском языке и касается: прогресса в проектировании и развитии технологии инновационных реакторов малой и средней мощности; тенденций в сфере ядерного топлива для ныне существующих типов энергетических реакторов; устойчивого развития: работы по подготовке сессии Комиссии по устойчивому развитию 2007 года (КУР-15); разработки радиационно-стойких конструкционных материалов активной зоны реактора; радиофармацевтических препаратов: производства и доступности; эффективности водопользования в сельском хозяйстве: роли ядерных и изотопных методов; использования изотопов для понимания процессов, происходящих в океане, и изменения климата.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти также в *Ежегодном докладе за 2006 год* МАГАТЭ (GC(51)/5), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в *Докладе о техническом сотрудничестве за 2006 год* (GC/(51)/INF/4).
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета и другие замечания, полученные от государств-членов.

Содержание

A.	Энергетические применения	3
A.1.	Ядерная энергетика сегодня	3
A.2.	Прогнозируемый рост ядерной энергетики	6
A.3.	Начальная стадия топливного цикла	8
A.4.	Отработавшее топливо и переработка	10
A.5.	Отходы и вывод из эксплуатации	11
A.6.	Дополнительные факторы, влияющие на будущее ядерной энергетики	12
A.6.1.	Устойчивое развитие и изменение климата	12
A.6.2.	Экономика	12
A.6.3.	Безопасность	13
A.6.4.	Устойчивость с точки зрения нераспространения	14
B.	Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	15
B.1.	Усовершенствованные ядерные системы	15
B.1.1.	Легководные реакторы	15
B.1.2.	Тяжеловодные реакторы	16
B.1.3.	Газоохлаждаемые реакторы	16
B.1.4.	Быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем	17
B.1.5.	Системы с использованием ускорителей (ADS)	18
B.1.6.	ИНПРО и МФП	18
B.2.	Термоядерный синтез	19
C.	Атомные и ядерные данные	20
D.	Применения ускорителей и исследовательских реакторов	21
D.1.	Ускорители	21
D.2.	Исследовательские реакторы	21
E.	Применения радиоизотопов и радиационная технология	25
E.1.	Применения радиоизотопов в сфере здравоохранения	25
E.2.	Радиационная технология	25
E.2.1.	Радиационная прививка полимеров	26
F.	Ядерные методы в продовольственной и сельскохозяйственной областях	27
F.1.	Изотопы в почве для отслеживания загрязнителей	27
F.2.	Улучшение сельскохозяйственных культур	28
F.3.	Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	29
F.4.	Метод стерильных насекомых для борьбы с насекомыми-вредителями	30
F.4.1.	Борьба с плодовой мухой с помощью МСН	30
F.4.2.	Борьба с мясной мухой с помощью МСН	31
F.4.3.	Борьба с москитами с помощью МСН	31
F.5.	Качество и безопасность пищевых продуктов	31
F.5.1.	Контроль безопасности: измерение остатков пестицидов	31
G.	Здоровье человека	32
G.1.	Достижения в области ядерной кардиологии	32
G.2.	Современная лучевая терапия	32
G.3.	Питание	33
H.	Вода и окружающая среда	34
H.1.	Изотопные данные для управления водными ресурсами	34
H.2.	Морская и земная среды	35
H.2.1.	Микроанализ радиоактивных частиц в морских отложениях	35
H.2.2.	Радиоактивные индикаторы в поддержку безопасности морепродуктов	36
H.3.	Мониторинг загрязнения воздушной среды	37
H.4.	Радон в атмосфере	37
H.5.	Эталонные материалы и качество аналитических измерений	38

Обзор ядерных технологий – 2007

Доклад Генерального директора

Резюме

1. 2006 год был годом расширяющейся деятельности в области ядерной энергетики. В некоторых странах было объявлено о существенных планах развития этой отрасли, в то время как в других было объявлено о планах внедрения ядерной энергетики. Год начался с обнародования Российской Федерацией и Соединенными Штатами Америки предложений о международных усилиях в области топливного цикла в ожидании существенного расширения ядерной энергетики во всем мире. В январе президент России Владимир Путин выдвинул предложение о создании "системы международных центров по предоставлению услуг ядерного топливного цикла, включая обогащение, под контролем МАГАТЭ, на основе недискриминационного доступа". В феврале США выдвинули предложение о "Глобальном партнерстве в области ядерной энергии", цель которого – развитие передовых технологий рециклирования, которые не будут выделять чистый плутоний; международное сотрудничество в сфере поставок топлива государствам, которые соглашаются не осуществлять обогащение и переработку; разработка усовершенствованных реакторов, потребляющих рециклированное отработавшее топливо, производя при этом энергию; и создание безопасных и надежных реакторов малой мощности, отвечающих потребностям развивающихся стран.

2. Новые среднесрочные прогнозы МАГАТЭ и Международного энергетического агентства рисуют картину, предполагающую возможность значительного расширения ядерной отрасли, но пока еще довольно неопределенную. Ряд стран объявили о планах существенного расширения: Индия, Китай, Республика Корея, Пакистан, Российская Федерация и Япония. В сообщениях о планируемых заявках компаний и консорциумов США на выдачу лицензий упоминается приблизительно о 25 новых реакторах. В Канаде поданы две заявки на подготовку площадок. В проведенном Соединенным Королевством масштабном энергетическом обзоре сделан вывод о том, что новые АЭС сделают существенный вклад в достижение целей энергетической политики Соединенного Королевства. Энергопредприятия Латвии, Литвы и Эстонии начали совместное технико-экономическое обоснование сооружения новой АЭС, которая будет эксплуатироваться в интересах всех трех стран, а Беларусь, Египет, Индонезия, Нигерия и Турция объявили о реализуемых ими шагах в направлении создания своих первых АЭС.

3. По состоянию на конец 2006 года во всем мире в эксплуатации находилось 435 ядерных энергетических реакторов с суммарной мощностью 370 ГВт (эл.). В течение года к энергосети были подключены два новых реактора, в то время как из эксплуатации были выведены восемь, в результате чего имело место небольшое чистое увеличение глобальной ядерной генерирующей мощности в 2006 году, составившее, с учетом возросших мощностей существующих реакторов, 1443 МВт (эл.). Началось сооружение трех энергоблоков, а также были возобновлены активные строительные работы на одной станции в Российской Федерации, и, таким образом, общая мощность сооружаемых на конец года станций составила 23 641 МВт (эл.).

4. Цены спот на уран, стимулируемые отчасти растущими ожиданиями в отношении ядерной энергетики, в 2006 году продолжали повышаться и по сравнению со своим исторически низким

уровнем в 2000 году возросли в девять раз. С 2001 года ежегодные расходы на разведку возросли более чем три раза.

5. В Бразилии была открыта новая установка по обогащению "Ресенде", и строительные работы начались на Национальной установке по обогащению в США и второй очереди завода по обогащению им. Жоржа Бесса во Франции. В марте начались завершающие испытания перед вводом в эксплуатацию на новом заводе по переработке в Роккасё, Япония.

6. Единственное в мире действующее геологическое хранилище, экспериментальная установка по изоляции отходов в США, получило свою первую повторную сертификацию от Управления по охране окружающей среды США со времени его открытия в 1999 году. Франция приняла новое законодательство, в котором определены такие цели, как подача заявки на получение лицензии для глубокого геологического хранилища, открыть которое предполагается к 2025 году, и для сооружения к 2020 году прототипа реактора, в частности, для испытания трансмутации долгоживущих радионуклидов. Шведская компания "SKB", занимающаяся обращением с ядерным топливом и отходами, подала заявку на сооружение в Оскархамне установки по герметизации, что является первым шагом на пути к окончательному захоронению.

7. Что касается усовершенствованных реакторных проектов, то в 2006 году Комиссией по ядерному урегулированию США (КЯР) был сертифицирован проект AP-1000 компании "Вестингаус", предусматривающий пассивные системы безопасности. После того, как к Международному проекту по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) присоединились Беларусь, Казахстан, Словакия и Япония, число его членов возросло до 28, а после присоединения Китая и России число членов Международного форума "Поколение-IV" (МФП) возросло до 13. По завершении работ над методологией, которую государства-члены могут использовать для оценки и выбора инновационных ядерных энергетических систем (ИЯЭС) на предмет их освоения, в реализации ИНПРО наступил второй этап. На втором этапе ИНПРО исследуются инновационные институциональные и инфраструктурные подходы к ИЯЭС, совместные оценки ИЯЭС и совместные проекты государств-членов. Члены МФП в 2006 году подписали четыре "договоренности по системам", охватывающие сотрудничество в сферах систем, в которых используются реакторы с натриевым теплоносителем, газоохлаждаемые быстрые реакторы, высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы и сверхкритические водоохлаждаемые реакторы. Эти договоренности обеспечивают основу для участия государств - членов МФП в совместных НИОКР по различным технологиям.

8. Возрастает спрос на более точные базы атомных и ядерных данных в поддержку ядерных применений в областях исследований, энергии и в производстве терапевтических радионуклидов в ядерной медицине. Расширяется применение радионуклидов в здравоохранении, при этом растет спрос на эмиттеры позитронов для использования в позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

9. Интерес к радиационной технологии был продемонстрирован на трех крупных международных совещаниях, на которых рассматривались вопросы радиационной обработки, радиационной химии и производства и использования полимеров. Радиационная прививка полимеров предлагает недорогие технологии производства для широкого диапазона применений: от топливных элементов до медицины и биотехнологии.

10. Ядерные и изотопные методы по-прежнему играют важную роль во многих аспектах продовольствия и сельского хозяйства. Изотопы все шире используются для отслеживания загрязнителей почвы, в частности используются содержащиеся в выпадениях радионуклиды,

образовавшиеся еще во времена испытаний оружия. Благодаря более совершенной методологии секвенирования генома улучшаются методы индуцирования мутаций для селекции растений, что создает возможности для увеличения количества сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к неблагоприятным условиям. Для повышения производительности животноводства применяются устойчивые изотопы, которые используются для лучшего понимания поступления питательных веществ в организм животных и оптимизации режимов кормления. Расширяется использование метода стерильных насекомых, и поступают сообщения о некоторых успехах и о новых установках для производства стерильной мухи.

11. Обеспечивается прогресс в ядерной кардиологии на основе новых методов визуализации, которые теперь позволяют проводить оценку болезней на очень ранних стадиях. Эти те же методы визуализации в сочетании со сложной вычислительной техникой содействуют быстрому развитию радиотерапии, предоставляя, помимо других преимуществ, возможность облучения дозами точно заданных параметров тех органов, которые двигаются тогда, когда пациент дышит, при уменьшении доз, получаемых соседними здоровыми тканями. В области питания в программах, в которых используются методы на основе устойчивых изотопов, выгоду приносит расширенный доступ к аналитическому оборудованию, которое может использоваться для оценки композиционного состава тела и потребления женского молока младенцами.

12. Одним из ключевых элементов устойчивого управления водными ресурсами является улучшенное понимание водного цикла. Измерение изотопного содержания в водах различного происхождения (осадки, подземные воды и т.д.) способствует пониманию водного цикла и климата, и страны предпринимают все больше усилий для расширения наличия изотопных данных. Эти усилия обеспечат дальнейшее укрепление Глобальной сети "Изотопы в осадках", которая предоставляет возможности толкования национальных или местных изотопных данных.

13. В экологических исследованиях радиоиндикаторы дают рентабельные средства для анализа поступления токсичных металлов в морские организмы, и, таким образом, они вносят свой вклад в исследования проблем безопасности морепродуктов и повышения качества. В исследованиях загрязнителей воздуха в целях определения их состава и источников также используются ядерные методы, такие, как анализ методом рентгеновской флюоресценции и нейтронно-активизационный анализ, и в исследованиях атмосферы все чаще используются измерения имеющего естественное происхождение радиоактивного газа радона, что вносит вклад в реализацию программы Глобальной системы атмосферных наблюдений Всемирной метеорологической организации.

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

14. По состоянию на конец 2006 года во всем мире в эксплуатации находилось 435 ядерных энергетических реакторов с суммарной энерговырабатывающей мощностью 370 ГВт (эл.) (см. Таблицу А-1). В 2006 году на долю ядерной энергетике приходилось около 15% мирового производства электроэнергии.

15. В 2006 году к энергосети были подключены два новых реактора: один в Китае и один в Индии. Это можно сравнить с четырьмя новыми подключениями в 2005 году (плюс повторное подключение одного реактора, временно выведенного из эксплуатации) и пятью новыми подключениями в 2004 году (плюс одно повторное подключение). В 2006 году были выведены из эксплуатации восемь ядерных энергетических реакторов: два в Болгарии, четыре в Соединенном Королевстве, один в Словакии и один в Испании. Это можно сравнить с двумя выводами из эксплуатации в 2005 году и пятью - в 2004 году. С учетом возросших мощностей существующих реакторов, имело место небольшое чистое увеличение глобальной ядерной энерговырабатывающей мощности в 2006 году, составившее 1443 МВт (эл.).

16. В 2006 году началось сооружение трех энергоблоков: "Лин ао-4" (1000 МВт (эл.)) и "Циньшань II-3" (610 МВт (эл.)) в Китае, а также "Шин Кори-1" (960 МВт (эл.)) в Республике Корея. Кроме того, возобновилось активное строительство энергоблока "Белоярск-4" в России.

17. Начало сооружения трех энергоблоков в 2006 году и возобновление строительства энергоблока "Белоярск-4" можно сравнить с началом сооружения трех энергоблоков в 2005 году и возобновлением строительства двух реакторов. В 2004 году было начато сооружение двух энергоблоков и возобновлено строительство двух других реакторов.

18. 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, в стадии сооружения находилось 29 реакторов, причем 17 из них - в Азии. Из введенных по состоянию на конец года в эксплуатацию 36 реакторов 26 были подключены к энергосетям в Азии.

19. В Соединенных Штатах Америки Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) одобрила продление еще восьми лицензий на период по 20 лет каждая (таким образом, общий предусмотренный лицензией срок эксплуатации каждой АЭС составит 60 лет), и в результате общее количество одобренных продлений лицензий насчитывало 47 по состоянию на конец года. В Нидерландах, правительство продлило срок эксплуатации АЭС "Борсселе" еще на 20 лет, в результате чего общий предусмотренный лицензией срок ее эксплуатации составит 60 лет. Правительство установило также свод условий для сооружения новых ядерных установок, что свидетельствует об отходе от проводившейся ранее этой страной политики "постепенного отказа" от ядерной энергетики. Компетентный орган Франции по ядерной безопасности (ASN) условно дал разрешение компании "Électricité de France" на эксплуатацию ее двадцати реакторов с водой под давлением мощностью 1 300 МВт (эл.) еще в течение десяти лет, в результате чего нынешний общий предусмотренный лицензией срок эксплуатации составил 30 лет. В Канаде лицензия на эксплуатацию АЭС "Пойнт-Лепро" была продлена на три года до 2011 года.

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

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии сооружения		Электроэнергия АЭС, поставленная в 2006 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2006 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	7,2	6,9	56	7
АРМЕНИЯ	1	376			2,4	42,0	32	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 824			44,3	54,4	212	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	18,2	43,6	141	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 901			13,0	3,3	31	3
ВЕНГРИЯ	4	1 755			12,5	37,7	86	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 339			158,7	31,8	700	5
ИНДИЯ	16	3 577	7	3 112	15,6	2,6	267	7
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА			1	915				
ИСПАНИЯ	8	7 450			57,4	19,8	245	6
КАНАДА	18	12 610			92,4	15,8	528	1
КИТАЙ	10	7 572	4	3 610	51,8	1,9	66	7
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	20	17 454	1	960	141,2	38,6	279	8
ЛИТВА	1	1 185			7,9	72,3	40	6
МЕКСИКА	2	1 360			10,4	4,9	29	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			3,3	3,5	62	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	2,6	2,7	41	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	5	4 525	144,6	15,9	901	4
РУМЫНИЯ	1	655	1	655	5,3	9,0	10	6
СЛОВАКИЯ	5	2 034			16,6	57,2	118	7
СЛОВЕНИЯ	1	666			5,3	40,3	25	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	19	10 965			69,4	18,4	1 400	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	103	99 257			788,3	19,4	3 188	2
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	84,9	47,5	323	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 696	1	1 600	22,0	28,0	111	4
ФРАНЦИЯ	59	63 260			429,8	78,1	1 523	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 323			24,5	31,5	92	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			26,4	37,4	158	10
ШВЕЦИЯ	10	9 097			65,1	48,0	342	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			10,1	4,4	44	3
ЯПОНИЯ	55	47 587	1	866	291,5	30,0	1 276	8
Всего ^{b, c}	435	369 682	29	23 641	2 660,9	15%	12 599	1

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;

— 38,3 ТВт·ч выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 19,5% суммарной электроэнергии, произведенной в 2006 году;

— 152 года и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации по состоянию на конец 2006 года .

с. Общий опыт эксплуатации включает также остановленные станции в Италии (81 год) и Казахстане (25 лет, 10 месяцев).

А.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики

20. В 2006 году МАГАТЭ¹ и Международное энергетическое агентство (МЭА) опубликовали в своем *Мировом энергетическом обзоре 2006* (МЭО 2006)². обновленные прогнозы расширения ядерной энергетики до 2030 года. МАГАТЭ делает высокий и низкий прогноз для ядерной энергетики. *Мировой энергетический обзор 2006* включает справочный сценарий, а также альтернативный сценарий, который предполагает принятие дополнительных мер с целью повышения энергетической безопасности и снижения выбросов двуокси углерода (СО₂).

21. В 2005 году МЭА опубликовало результаты дополнительного исследования, содержащего семь сценариев, которые охватывают период до 2050 года³. Они включают базовый сценарий и шесть "сценариев ускоренных технологий (СУТ)". В рамках сценариев ускоренных технологий исследуются технологические варианты ограничения или резкого изменения глобального роста выбросов СО₂ и потребления нефти. Вместе эти три публикации включают, таким образом, одиннадцать сценариев. Их прогнозы для ядерной энергетики кратко изложены на диаграмме А-1.

22. На диаграмме А-1 низкий прогноз МАГАТЭ предполагает, что не будут строиться никакие новые АЭС, кроме тех, которые уже находятся в стадии сооружения или же совершенно определенно запланированы в настоящее время, а старые АЭС будут выводиться из эксплуатации согласно графику. Согласно этому прогнозу производство электроэнергии на АЭС возрастет лишь до 3100 ТВт к 2020 году (1,1% в год) и по существу не изменится до 2030 года. Высокий прогноз МАГАТЭ включает дополнительные обоснованные планируемые и предлагаемые ядерные проекты, помимо тех, которые уже определенно намечены. Согласно этому прогнозу будет происходить стабильный рост до 5040 ТВт к 2030 году (2,6% в год).

23. Эти глобальные сводные показатели скрывают региональные различия, в особенности в низком прогнозе. Согласно низкому прогнозу производство электроэнергии на АЭС в Западной Европе сократится почти на 60% в период между 2005 и 2030 годами, поскольку прогнозируемые выводы из эксплуатации будут последовательно опережать строительство новых установок. Однако производство электроэнергии на АЭС на Дальнем Востоке возрастет на 80%, а в Восточной Европе почти на 50%. Согласно высокому прогнозу, производство электроэнергии на АЭС возрастет во всех регионах. Согласно обоим прогнозам, наиболее высокие темпы строительства новых установок будут наблюдаться в следующем порядке на Дальнем Востоке, в Восточной Европе, в Северной Америке и на Ближнем Востоке/Юго-Восточной Азии.

24. Справочный сценарий МЭО представляет собой сценарий "сохранения нынешнего характера деятельности", который предполагает продолжение нынешней политики и современных тенденций. Прогноз производства электроэнергии на АЭС в этом сценарии почти идентичен низкому прогнозу МАГАТЭ. Ожидается, что предусматриваемые в альтернативном сценарии меры по повышению энергетической безопасности и сокращению выбросов СО₂ активизируют производство электроэнергии на АЭС, но, как показано на диаграмме, недостаточны, чтобы соответствовать высокому прогнозу МАГАТЭ.

¹ IAEA, Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030, Reference Data Series No. 1 (RDS-1), IAEA, Vienna, July, 2006.

² IEA, World Energy Outlook 2006, IEA, Paris, 2006.

³ IEA, Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050, IEA, Paris, 2006.

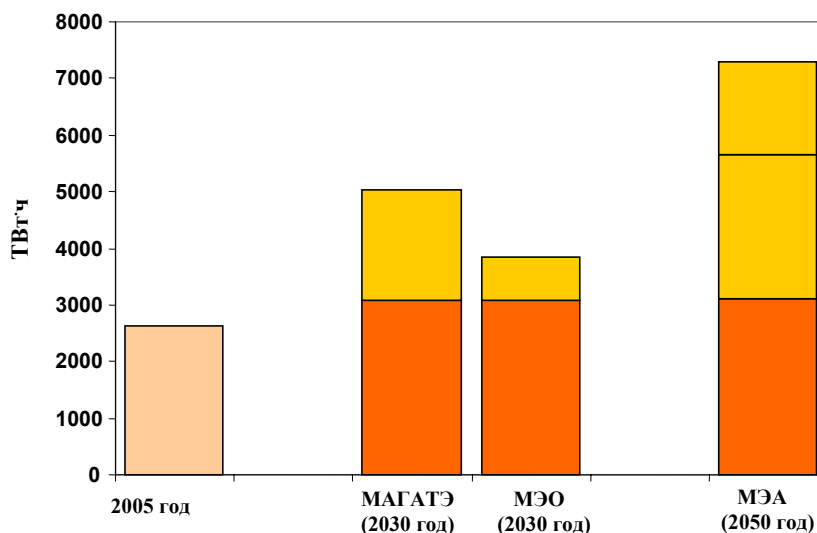


Диаграмма А-1. Глобальное производство электроэнергии на АЭС в 2005 году и диапазоны прогнозов на 2030 и 2050 годы по результатам трех исследований (темно-оранжевый = низкий, желто-оранжевый = высокий и бежевый = исторический).

25. Для сценариев МЭА на 2050 год, с правой стороны диаграммы А-1, нижний край диапазона определяется базовым сценарием и "низким ядерным сценарием". По существу они являются продолжениями справочного сценария МЭО 2006. Верхний край диапазона устанавливается сценарием "ТЕХ Плюс", который предполагает ускоренное сокращение затрат на топливные элементы, возобновляемые источники энергии, виды биотоплива и ядерную энергетику. Согласно этому сценарию, производство электроэнергии на АЭС будет продолжать расти до 2050 года практически теми же темпами, как и в рамках высокого прогноза МАГАТЭ, и его доля в глобальном производстве электроэнергии достигнет 22%. Другие четыре сценария МЭА группируются вокруг черной черты на диаграмме на уровне около 5650 ТВт или при среднем темпе роста 1,7% после 2005 года.

26. В совокупности эти новые прогнозы и сценарии представляют перспективную картину значительного расширения ядерной деятельности, сохраняя при этом существенный элемент неопределенности. Ряд событий, произошедших в 2006 году, свидетельствуют о том, что возобновление интереса к ядерной энергетике может достаточно скоро привести к расширению масштабов строительства. Эти события включают сделанные в 2006 году Японией и Российской Федерацией объявления о планах расширения, а также объявления о планах расширения, которые сделали ранее Индия, Китай, Республика Корея и Пакистан. Эти события включают сделанные компаниями и консорциумами в США объявления о большом количестве предполагаемых применений комбинированных лицензий на эксплуатацию в общей сложности приблизительно 25 новых реакторов. Эти события включают подготовку двух площадок в Канаде и сделанный в энергетическом обзоре Соединенного Королевства вывод о том, что новые АЭС внесут значительный вклад в достижение целей энергетической политики этой страны. Эти события включают проведение энергопредприятиями Латвии, Литвы и Эстонии совместного технико-экономического обоснования строительства новой АЭС для удовлетворения потребностей всех трех стран, а также сделанные Беларусью, Египтом, Индонезией, Нигерией и Турцией объявления о шагах, которые они предпринимают в направлении строительства своих первых АЭС.

А.3. Начальная стадия топливного цикла⁴

27. Цены спот на уран, стимулируемые отчасти возобновлением интереса к ядерной энергетике, продолжали расти в 2006 году, достигнув 72 долл. за фунт U₃O₈ по состоянию на конец года, что в более чем десять раз выше их исторически низкого уровня в декабре 2000 года.⁵ Разведка и разработка рудников последовали этому примеру, при этом расходы на разведку увеличились более чем в три раза в период между 2001 и 2005 годами.

28. Последняя оценка глобальных урановых ресурсов "*Уран-2005: ресурсы, производство и спрос*", опубликованная Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) ОЭСР и МАГАТЭ в 2006 году, показывает, что, хотя значительные урановые ресурсы, вероятно, будут иметься в наличии, потребуются масштабная разработка рудников, с тем чтобы превратить "урановую руду в желтый кек в контейнере". Таблица А-2 содержит сводку данных, касающихся прогнозируемой продолжительности использования имеющихся в мире традиционных урановых ресурсов. В отношении как применяемого в настоящее время однократного топливного цикла ЛВР, так и чистого топливного цикла быстрых реакторов⁶ в таблице содержится оценка обеспеченности традиционными урановыми ресурсами при условии, что производство электроэнергии на АЭС останется на уровне 2004 года.

Таблица А-2. Обеспеченность ресурсами (количество лет) для ядерной энергетик⁶

Реактор/топливный цикл	Количество лет при общемировой выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2004 года с использованием установленных традиционных ресурсов	Количество лет при общемировой выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2004 года с использованием всех традиционных ресурсов	Количество лет при общемировой выработке электроэнергии на АЭС на уровне 2004 года с использованием всех традиционных и нетрадиционных ресурсов
Применяемый в настоящее время однократный топливный цикл с ЛВР	85	270	675
Чистый топливный цикл быстрых реакторов с рециклированием	5000–6000	16 000–19 000	40 000–47 000

⁴ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в разделе "*Обзор ядерных технологий – 2007*". Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении начальной стадии топливного цикла содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

⁵ Однако основная часть урана закупается на основе долгосрочных контрактов, и в 2000-2005 годы среднесрочные и долгосрочные цены на уран возросли только на 20-40%.

⁶ Величины в последней графе таблицы А-2 предполагают, что быстрые реакторы позволяют, по существу, преобразовывать весь уран-238 в плутоний-239 для топлива, за исключением незначительных потерь делящегося материала во время переработки и изготовления топлива. Полученные величины выше оценочных данных, опубликованных в аналогичной таблице в книге "*Уран-2005: ресурсы, производство и спрос*". Оценки в той таблице предполагают, что не весь уран-238 преобразуется в плутоний-239 для топлива.

29. В 2006 году пристальное внимание мирового сообщества уделялось обогащению урана. Как и в случае с ураном, цена единиц разделительной работы (ЕРР) возросла, увеличившись почти на 45% в период между 2001 и 2006 годами. Рыночный спрос, по-видимому, превысит запланированные уровни производства после 2013 года, когда в соответствии с графиком истечет Соглашение между правительством Соединенных Штатов Америки и правительством Российской Федерации об использовании высокообогащенного урана, извлеченного из ядерного оружия⁷, и возможно раньше в случае быстрого роста строительства АЭС в ближайшей перспективе. Значительные дальнейшие дополнительные возможности повышения мощности могут быть определены помимо тех, что точно запланированы в настоящее время, однако если темпы роста ядерных мощностей будут ускоряться, то цены как на ЕРР, так и на уран будут продолжать возрастать.

30. Примерами повышения внимания к обогащению урана стали официальное открытие установки по обогащению "Ресенде" в Бразилии, начало строительных работ на Национальной установке по обогащению США и на второй очереди завода по обогащению им. Жоржа Бесса во Франции, объявления Австралией, Аргентиной и Южной Африкой планов возобновления или исследования национальных программ по обогащению, а также покупка компанией "Дженерал електрик" прав на разработанную австралийской фирмой "Силекс системс" передовую технологию лазерного обогащения урана. В то же время призыв президента Путина создать "систему международных центров по предоставлению услуг ядерного топливного цикла, включая обогащение, на основе недискриминационного доступа и под контролем МАГАТЭ" и последующее создание Российской Федерацией и Казахстаном международного центра по обогащению урана в Ангарске, а также несколько дополнительных предложений обеспечить поставки обогащенного урана в случае перебоев с поставками по политическим мотивам продемонстрировали желание государств разработать новые, международные подходы к ядерному топливному циклу.

31. В этом контексте на пятидесятой сессии Генеральной конференции МАГАТЭ в качестве специального мероприятия была проведена международная конференция по теме "Новая основа для использования ядерной энергии в XXI веке: гарантии поставок и нераспространения". В своем докладе председатель специального мероприятия напомнил о проблеме удовлетворения растущих глобальных потребностей в энергии посредством возможного расширения использования ядерной энергии при одновременном сведении к минимуму рисков, связанных с распространением, возникающих вследствие расширения использования чувствительной ядерной технологии, такой, как обогащение урана и переработка плутония. На конференции был рассмотрен ряд недавно выдвинутых полезных предложений в отношении новых подходов к ядерному топливному циклу, направленных на обеспечение гарантированных поставок ядерного топлива, в качестве поддержки коммерческого рынка в определенных ситуациях. На конференции были обсуждены эти недавние предложения об обеспечении поставок ядерного топлива на основе урана в качестве одного из этапов более широкого долговременного развития многосторонней основы, которая может включать гарантированное обеспечение механизмов поставки как природного, так и низкообогащенного урана и ядерного топлива, а также обращение с отработавшим топливом. Участники конференции признали, что создание полноценной многосторонней основы, доступной на равных условиях всем пользователям ядерной энергии и действующей в соответствии с согласованными нормами ядерного нераспространения, является сложной задачей, которая, вероятно, потребует поэтапного подхода. Ожидается, что итоги обсуждений на конференции будут учтены Секретариатом при разработке его предложений для рассмотрения Советом управляющих МАГАТЭ в течение 2007 года.

⁷ В этом Соглашении предусматривается, что уран оружейной чистоты, извлеченный из демонтируемых российских ядерных боеголовок, будет разбавляться и рециклироваться в топливо, используемое главным образом на американских АЭС.

А.4. Отработавшее топливо и переработка⁸

32. Суммарное количество отработавшего топлива всех реакторов в мире составляет около 10 500 метрических 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 для нового смешанного оксидного (МОХ) топлива. Приблизительно одна треть отработавшего топлива в мире была переработана. В рамках второй стратегии отработавшее топливо считается отходами и хранится до захоронения. В настоящее время, исходя из более чем 50-летнего опыта безопасного и эффективного хранения отработавшего топлива, существует высокий уровень уверенности в технологиях как мокрого, так и сухого хранения и их способности справиться с возрастающими объемами до создания хранилищ для окончательного захоронения всех высокоактивных отходов.

33. По состоянию на сегодняшний день Индия, Китай, Российская Федерация, Соединенное Королевство, Франция и Япония либо перерабатывают большинство своего отработавшего топлива, либо хранят его для будущей переработки. В настоящее время Канада, США, Финляндия и Швеция предпочитают прямое захоронение, хотя в феврале 2006 года США объявили о Глобальном партнерстве в области ядерной энергии (ГПЯЭ), которое включает разработку передовых технологий рециклирования для использования в США.

34. Большинство стран еще не решили, какую стратегию принять. В настоящее время они хранят отработавшее топливо и следят за разработками, связанными с обеими альтернативными вариантами.

35. В марте 2006 года в Японии начались окончательные испытания с целью ввода в эксплуатацию нового завода по переработке топлива "Роккасё", которые, как ожидается, продлятся 17 месяцев. Окончательным продуктом завода "Роккасё" является МОХ-порошок, который впервые был произведен в ноябре. Ожидается, что производство МОХ-порошка в промышленных масштабах начнется во второй половине 2007 года. Максимальная перерабатывающая мощность этого завода составит 800 тонн урана в год, что достаточно для переработки 80% ежегодного производства отработавшего топлива Японии. В Китае был завершен нерадиоактивный ввод в эксплуатацию первого в этой стране экспериментального завода по переработке. Осуществляется также разработка новых процессов рециклирования, например процесса "UREX+" в США для рециклирования отработавшего ядерного топлива без выделения чистого плутония и переработки выделенных трансурановых элементов в топливо для усовершенствованных быстрых реакторов-сжигателей.

36. В 2006 году приблизительно 180 тонн МОХ-топлива гражданского происхождения были загружены на коммерческой основе в более чем 30 реакторов с водой под давлением (PWR) и в два кипящих реактора (BWR) в Бельгии, Германии, Франции и Швейцарии. Доля сборок МОХ-топлива в активной зоне колебалась от 25% до 50%. Не ожидается никакого существенного увеличения потребностей в МОХ-топливе до 2010 года, когда Япония планирует начать осуществление своей "плутермальной" программы для загрузки МОХ-топлива в 16-18 энергетических реакторов. В Индии около 50 пучков МОХ-топливных элементов были недавно облучены на экспериментальной основе в корпусном тяжеловодном реакторе (PHWR 220).

⁸ Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении отработавшего топлива и переработки содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

37. Принадлежащий бельгийской ядерной корпорации "Belgonucleaire" завод по изготовлению МОХ-топлива в Десселе прекратил производство в августе 2006 года, и вывод его из эксплуатации намечено завершить к 2013 году. В результате этого останутся два значительных производителя МОХ-топлива во Франции и Соединенном Королевстве.

А.5. Отходы и вывод из эксплуатации⁹

38. Финская, шведская и американская программы создания хранилищ продолжают оставаться самыми развитыми, однако, как представляется, ни одна из них не обеспечит ввода в эксплуатацию хранилища ранее 2020 года. Единственным в мире действующим геологическим хранилищем является экспериментальная установка по изоляции отходов (ЭУИО) в США. С 1999 года она принимает долгоживущие трансурановые отходы, образующиеся в результате проведения научных исследований и производства ядерного оружия, однако она не принимает отходы с гражданских АЭС. В 2006 году Агентство по охране окружающей среды США одобрило поданную в 2004 году первую заявку ЭУИО на повторную сертификацию. Повторную сертификацию требуется проводить каждые пять лет. Принятое во Франции новое законодательство в отношении обращения с отработавшим топливом и захоронения отходов, которое определяет переработку отработавшего топлива и рециклирование пригодных к использованию материалов в качестве французской политики, также устанавливает, что захоронение в глубинных геологических формациях является эталонным решением для долгоживущих радиоактивных отходов высокого уровня активности. В соответствии с этим законодательством ставятся цели подать к 2015 году заявку на получение лицензии на эксплуатацию хранилища для обратимого захоронения в глубинных геологических формациях, а к 2025 году открыть эту установку. В нем содержится также призыв начать к 2020 году эксплуатацию прототипного быстрого реактора четвертого поколения с целью, в частности, испытания трансмутации долгоживущих радиоизотопов (см. также пункт 60). Кроме того, в 2006 году Комитет по обращению с радиоактивными отходами Соединенного Королевства пришел к выводу, что наилучшим вариантом захоронения является для этой страны захоронение в глубинных геологических формациях с обеспечением "надежного промежуточного хранения" до выбора площадки для хранилища.

39. В ноябре шведская компания SKB, занимающаяся ядерным топливом и обращением с отходами, подала в Инспекцию по ядерной энергетике Швеции заявку на получение разрешения на строительство в Оскаршамне завода по герметизации отходов. Строительство завода по герметизации отходов является первым шагом в направлении окончательного захоронения с использованием метода KBS-3, в соответствии с которым топливо герметизируется в медных контейнерах и захоранивается в коренной подстилающей породе на глубине приблизительно 500 метров. Как ожидается, окончательное решение по этой заявке будет принято лишь только после 2009 года, когда запланирована подача заявки на строительство хранилища для окончательного захоронения в глубинных геологических формациях. Обследования площадки для окончательного захоронения проводятся вблизи Форсмарка в Остхаммаре и в районе Лаксмар Оскаршамна.

40. В 2006 году был завершен вывод из эксплуатации на площадке АЭС "Биг-Рок Пойнт" в США, и эта площадка вернулась к состоянию "зеленой лужайки". Таким образом, по состоянию на 2006 год девять АЭС во всем мире были полностью выведены из эксплуатации, а их площадки были переданы для использования без ограничений. Семнадцать станций были частично демонтированы и подвергнуты безопасной консервации, 30 АЭС демонтируется перед конечной передачей площадки в пользование и 30 - находятся в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией.

⁹ Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении отходов и вывода из эксплуатации содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

А.6. Дополнительные факторы, влияющие на будущее ядерной энергетики

А.6.1. Устойчивое развитие и изменение климата¹⁰

41. 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". Хотя на Всемирной встрече на высшем уровне по устойчивому развитию (ВВУР) в 2002 году этот вывод был подтвержден, КУР включила тему энергии в повестку дня своих 14-й и 15-й сессий. КУР-14 в 2006 году являлась "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, проходившей в мае 2007 года, не удалось достичь согласия по новому тексту по энергетическим вопросам, в результате чего решения, достигнутые на КУР-9 и ВВУР, станут действующими соглашениями КУР по энергетике.

42. Киотский протокол, который вступил в силу в феврале 2005 года, требует от большинства развитых стран ограничить выбросы парниковых газов (ПГ) в "первый период обязательств" 2008–2012 годов. Разные страны приняли различные направления политики для достижения установленных для них пределов в соответствии с Киотским протоколом. 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. В отношении сокращения выбросов после первого периода обязательств на 11-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (КС-11) в 2005 году было принято решение начать обсуждения в специальной рабочей группе, которая к настоящему времени провела уже три заседания - в мае и ноябре 2006 года, а также в мае 2007 года. Обсуждения все еще находятся на ранней стадии и пока не начали затрагивать конкретных вопросов, таких, как нынешнее исключение ядерно-энергетических проектов из механизма чистого развития и совместного осуществления.

А.6.2. Экономика

43. 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 в целом конкурентоспособным выгодным источником электроэнергии. Однако что касается нового строительства, то экономическая конкурентоспособность ядерной энергетики зависит от имеющихся альтернативных вариантов, от общего спроса на электроэнергию в какой-либо стране и темпов его роста, от структуры рынка и инвестиционного климата, от экологических ограничений, а также от инвестиционных рисков, связанных с возможными политическими и регулирующими задержками или изменениями. Таким образом, экономическая конкурентоспособность различна в разных странах и условиях.

¹⁰ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в документах, имеющих отношение к *'Обзору ядерных технологий - 2007'*. Более подробная информация о деятельности МАГАТЭ по связанным с энергетикой аспектам устойчивого развития и изменения климата содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml>.

44. В Японии и Республике Корея относительно высокая стоимость альтернативных вариантов идет на пользу конкурентоспособности ядерной энергетики. В Индии и Китае быстро растущие потребности в энергии способствуют развитию всех энергетических вариантов. В Европе высокие цены на электроэнергию и природный газ, а также ограничения выбросов ПГ в соответствии с установленной Европейским союзом Схемой торговли выбросами улучшили коммерческие перспективы для новых АЭС. Принятый в США в 2005 году Энергетический акт значительно укрепил коммерческие перспективы строительства новых АЭС. Ранее новые АЭС не были привлекательны для инвестиций с учетом обилия недорогого угля и природного газа, отсутствия ограничений на выбросы ПГ, а также инвестиционных рисков, связанных с нехваткой недавнего опыта лицензирования строительства новых АЭС. Положения Энергетического акта, в том числе гарантии по займам, покрытие правительством расходов, связанных с некоторыми потенциальными задержками с выдачей лицензии, и отсрочка уплаты производственного налога на современные ядерно-энергетические мощности в пределах до 6 000 МВт (эл.), улучшили коммерческие перспективы в достаточной степени для того, чтобы побудить ядерные фирмы и консорциумы объявить о подаче заявок на получение возможных комбинированных лицензий (КОЛ), охватывающих приблизительно 25 возможных новых реакторов в США.

А.6.3. Безопасность¹¹

45. Показатели безопасности, подобные тем, которые были опубликованы Всемирной ассоциацией организаций, эксплуатирующих АЭС, и воспроизведены на диаграммах А-2 и А-3, в 1990-х годах значительно улучшились. Однако в некоторых областях в последние годы процесс улучшения затормозился. Кроме того, разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, вследствие чего имеются значительные возможности для их улучшения.

46. Более подробная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности* Агентства (GC/(51)/INF/2).

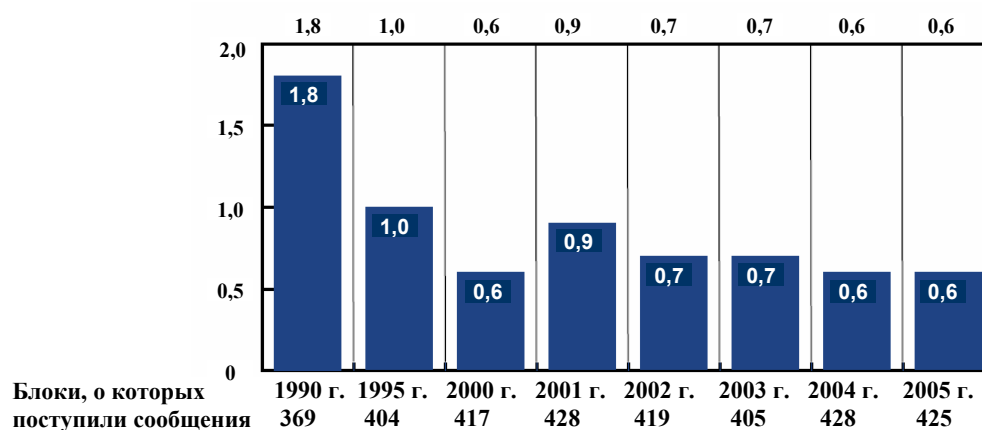


Диаграмма А-2. Незапланированные срочные остановки за каждые 7000 часов в критическом режиме.
Источник: ВАО АЭС 2005 год. Оценочные показатели.

¹¹ Более подробная информация о деятельности МАГАТЭ, касающейся ядерной безопасности, содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006>) и на веб-сайте Агентства <http://www-ns.iaea.org/>.

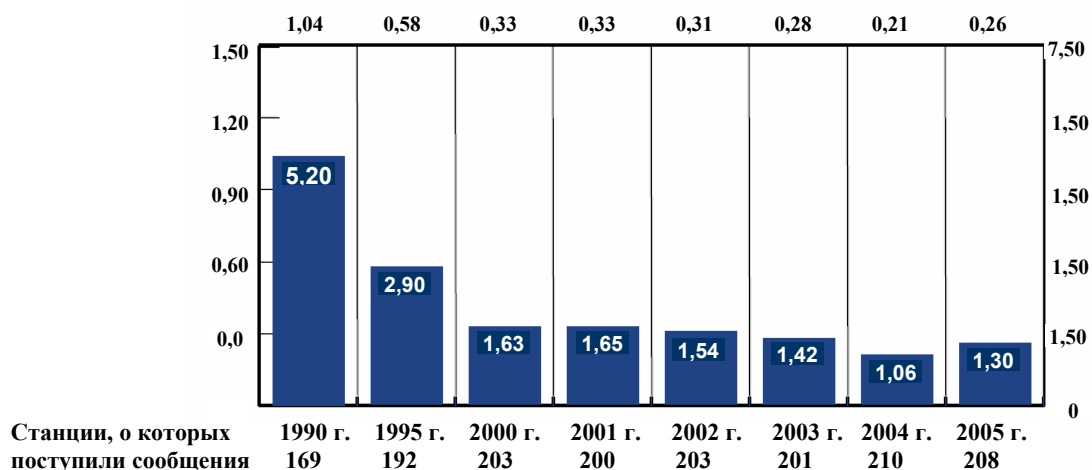


Диаграмма А-3. Промышленные аварии на АЭС на 200 000 человеко-часов работы (левая шкала) и на 1 000 000 человеко-часов работы (правая шкала).
Источник: ВАО АЭС 2005 год. Оценочные показатели.

А.6.4. Устойчивость с точки зрения нераспространения¹²

47. На Конференции 2005 года по рассмотрению действия ДНЯО Генеральный директор предложил семь шагов по укреплению режима нераспространения: подтвердить цель ликвидации ядерного оружия; укрепить полномочия Агентства в отношении проверки; установить более строгий контроль над чувствительными с точки зрения нераспространения этапами топливного цикла; обеспечить сохранность и контроль ядерного материала (например, укрепить Конвенцию о физической защите ядерного материала и свести к минимуму гражданское использование высокообогащенного урана); продемонстрировать приверженность ядерному разоружению; усилить механизм санкций за несоблюдение ДНЯО; и устранить реальные озабоченности государств в отношении физической безопасности. Вопрос ужесточения контроля над чувствительными с точки зрения нераспространения элементами ядерного топливного цикла был обсужден на конференции по теме "Новая основа для использования ядерной энергии в XXI веке: гарантии поставок и нераспространения", итоги которой кратко излагаются в разделе А.3.

¹² Более подробная информация о деятельности МАГАТЭ, касающаяся устойчивости с точки зрения нераспространения и гарантий, содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html>.

В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

В.1. Усовершенствованные ядерные системы¹³

В.1.1. Легководные реакторы

48. Во Франции и Германии, компанией AREVA NP разработан крупный европейский реактор с водой под давлением (EPR), удовлетворяющий требованиям европейских энергокомпаний и обеспечивающий экономию за счет масштаба благодаря повышенному уровню мощности по сравнению с последними сериями PWR во Франции (серия N4) и Германии (серия Konvoi). В Германии, компания AREVA NP вместе с международными партнерами из Нидерландов, Финляндии, Франции и Швейцарии разрабатывает базовый проект SWR-1000 - усовершенствованного BWR с пассивными средствами безопасности.

49. В Японии преимуществами энергоблоков с усовершенствованными кипящими реакторами (ABWR) являются стандартизация и серийное строительство. Коммерческая эксплуатация первых двух ABWR была начата в 1996 и 1997 годах, а двух последующих – в 2005 и 2006 годах. Два ABWR сооружаются на Тайване, Китай. В 1991 году была начата программа разработки ABWR-II с целью значительного снижения затрат на производство электроэнергии, отчасти путем повышения мощности и экономии за счет масштаба. Ввод в эксплуатацию первого ABWR-II запланирован на конец периода 2010-х годов. Также в Японии завершено базовое проектирование крупного усовершенствованного PWR для третьего и четвертого энергоблоков АЭС “Цуруга” Японской атомно-энергетической компании, а еще более крупный вариант, APWR+, находится на этапе проектирования.

50. В Республике Корея преимущества стандартизации и серийного строительства реализуются в рамках серии корейских стандартных АЭС (KSNP). Восемь KSNP находятся в промышленной эксплуатации. На основе накопленного опыта разрабатывается усовершенствованный KSNP – оптимизированный энергетический реактор (OPR) – причем к промышленной эксплуатации первых таких энергоблоков планируется приступить в 2010 и 2011 годах. Корейский реактор нового поколения, разработка которого была начата в 1992 году, называется теперь усовершенствованным энергетическим реактором 1400 (APR-1400), и он будет более крупным, что обеспечит экономию за счет масштаба. Ввод в эксплуатацию первого APR-1400 намечен на 2012 год.

51. В США в 1997 году были сертифицированы проекты крупного усовершенствованного PWR (модель System 80+ компании Combustion Engineering) и крупного BWR (модель ABWR компании General Electric). Конструкции AP-600 и AP-1000 компании "Westinghouse" с пассивными системами безопасности были сертифицированы соответственно в 1999 и 2006 годах. Возглавляемая компанией “Westinghouse” международная группа разрабатывает международный инновационный и безопасный реактор (IRIS) мощностью 360 МВт(эл.) с модульной интегральной конструкцией, активная зона которого способна работать с четырехлетним топливным циклом. Сертификацию конструкции предполагается провести в 2008-2010 годах. Компания "General Electric" разрабатывает большой европейский упрощенный кипящий реактор (ESBWR), в конструкции которого экономия за счет масштаба сочетается с модульными пассивными системами безопасности. В ближайшее время предстоит провести рассмотрение как IRIS, так и ESBWR с точки зрения регулирования.

¹³ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в документах, имеющих отношение к 'Обзору ядерных технологий – 2007'. Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении отработавшего топлива и переработки содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

52. В Российской Федерации к эволюционным вариантам конструкций современных станций с ВВЭР-1000 (В-320) относятся конструкции АЭС-2000 мощностью 1200 МВт(эл.) и ВВЭР-1000 (В-392). Первый ВВЭР-1000 (В-392) был подключен к энергосети на Тяньване, Китай, в 2006 году. Другие энергоблоки сооружаются в Индии, Исламской Республике Иран и Китае. Запланировано строительство двух энергоблоков на Нововоронежской площадке в России. В России также начата разработка конструкции более крупного реактора ВВЭР-1500. В июле Россией и Казахстаном было создано совместное предприятие с целью завершения разработки конструкции реактора ВВЭР-300 мощностью 200-400 МВт(эл.) для использования в плавучих или наземных станциях с комбинированными ядерно-энергетическими установками.

53. Национальная ядерная корпорация Китая (CNNC) разработала конструкцию АС-600, а в настоящее время разрабатывает CNP-1000 для производства электроэнергии. CNNC также разрабатывает установку QS-600e/w для производства электроэнергии и опреснения морской воды.

В.1.2. Тяжеловодные реакторы

54. В Канаде, в конструкции усовершенствованного реактора CANDU (ACR) компании "Atomic Energy of Canada Limited" для уменьшения размеров активной зоны реактора применено слабообогащенное урановое топливо, что позволило уменьшить количество тяжелой воды, используемой в реакторе в качестве замедлителя, и применить в качестве теплоносителя легкую воду. Кроме того, в качестве части Международного форума "Поколение IV" (МФП), AECL разрабатывает инновационную конструкцию реактора с тяжеловодным замедлителем и сверхкритическими параметрами легководного теплоносителя. В таких реакторах, там, где это возможно, будет использоваться пассивный теплоотвод за счет естественной циркуляции и пассивный отвод тепла из защитной оболочки.

55. В 2005 и 2006 годах Индия подключила к энергосети первые два энергоблока новой конструкции с тяжеловодными реакторами (HWR) мощностью 540 МВт(эл.) в Тарапуре. Индия также проектирует HWR эволюционной конструкции мощностью 700 МВт(эл.) и разрабатывает усовершенствованный тяжеловодный реактор - вертикальный кипящий реактор канального типа с тяжеловодным замедлителем, легководным теплоносителем и пассивными средствами безопасности, конструкция которого оптимизирована для использования ториевого топлива.

В.1.3. Газоохлаждаемые реакторы

56. Во всем мире в настоящее время находятся в эксплуатации 18 газоохлаждаемых реактора (GCR) с двуокисью углерода в качестве теплоносителя и два испытательных реактора с гелиевым охлаждением. Южноафриканская компания PBMR (Pty) Ltd, ведущая работы в области модульных реакторов с шаровыми твэлами, разрабатывает модульный реактор с шаровыми твэлами (PBMR) мощностью 165 МВт(эл.), который предполагается ввести в эксплуатацию приблизительно в 2010 году. Южноафриканским правительством произведено первоначальное финансирование этого проекта и уже размещены заказы на некоторые основные компоненты. В Китае продолжается работа по испытаниям безопасности и совершенствованию конструкции высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (HTR-10) мощностью 10 МВт(тепл.) и разработаны планы проектирования и строительства прототипа энергетического реактора (HTR-PM).

57. В Японии в 1998 году начата эксплуатация высокотемпературного реактора для технических испытаний (HTTR) мощностью 30 МВт(тепл.) и продолжаются работы по испытаниям безопасности и сопряжению с установкой для производства водорода. Сооружается также прототип энергетического реактора мощностью 300 МВт(эл.).

58. Российская Федерация и США продолжают исследования и разработки по созданию газотурбинного модульного гелиевого реактора (ГТ-МГР) для сжигания плутония. Франция осуществляет активную программу НИОКР по концепциям реакторов как на тепловых, так и на быстрых нейтронах, а в США продолжают проводиться Министерством энергетики (МЭ) работы по аттестации усовершенствованного топлива газоохлаждаемых реакторов. Во Франции с целью демонстрации важнейших технологических аспектов газоохлаждаемых быстрых реакторов планируется ввести в 2017 году в эксплуатацию экспериментальный реактор мощностью порядка 50 МВт(тепл.).

V.1.4. Быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем

59. В Китае сооружается Китайский экспериментальный быстрый реактор бассейнового типа с натриевым теплоносителем мощностью 25 МВт(эл.), причем первый вывод его на критичность запланирован на середину 2009 года, а подключение к энергосети – на середину 2010 года. В течение следующих двух этапов будут разработаны прототип быстрого реактора мощностью 600 МВт(эл.), проектирование которого было начато в 2005 году, и демонстрационный быстрый реактор мощностью 1000-1500 МВт(эл.).

60. Во Франции эксплуатация быстрого реактора Phénix будет продолжена еще в течение четырех циклов облучения, после чего он будет закрыт в 2009 году. На нем будут проводиться радиационные испытания в поддержку французской программы НИОКР по трансмутации и исследований будущих инновационных конструкций. В рамках Международного форума "Поколение IV" (МФИ) Франция планирует ввод приблизительно в 2020 году в эксплуатацию прототипа быстрого реактора мощностью 250-600 МВт(эл.) с натриевым охлаждением для демонстрации улучшенных экономических показателей и повышенных характеристик безопасности.

61. В Индии испытательный быстрый реактор-размножитель (FBTR) находится в эксплуатации с 1985 года, и сейчас в Калпаккаме ведется строительство прототипа быстрого реактора-размножителя (PFBR) мощностью 500 МВт(эл.). Ввод этого реактора в эксплуатацию запланирован на сентябрь 2010 года.

62. В Японии в 2005 году были начаты подготовительные работы по модификации прототипа быстрого реактора-размножителя MONJU мощностью 280 МВт(эл.), необходимой для его повторного запуска. В целях разработки усовершенствованного топлива и материалов и технологий для сжигания и трансмутации минорных актинидов будет начато облучение в экспериментальном быстром реакторе-размножителе JOYO ферритной дисперсно-упрочненной оксидами стали, уран-плутониевого MOX топлива, содержащего 5% америция, и MOX топлива, содержащего как нептуний, так и америций.

63. В Республике Корея Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии проводит исследования, технологические разработки и проектировочные работы по концепции усовершенствованного быстрого реактора KALIMER-600 мощностью 600 МВт(эл.). Эскизный проект KALIMER-600 был завершен в 2006 году. Начиная с 2007 года развитие технологии быстрых реакторов с натриевым теплоносителем (SFR) вступает в новую фазу в рамках проекта сотрудничества "Поколение IV" по SFR.

64. Реактор БН-600 в России является самым крупным из находящихся в эксплуатации быстрых реакторов, и срок его эксплуатации достиг 26 лет. Ведется строительство реактора БН-800 мощностью 800 МВт(эл.); ввод его в эксплуатацию запланирован на 2012 год. Россия также разрабатывает различные концепции усовершенствованных быстрых реакторов с натриевым теплоносителем и реакторов с жидкими тяжелыми металлами в качестве

теплоносителя, в частности концепцию реактора БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем и концепцию реактора СВБР-75/100 с теплоносителем на основе эвтектики свинца-висмута.

65. В США в рамках Глобального партнерства в области ядерной энергии (ГПЯЭ) проводится первоначальное планирование НИОКР по созданию усовершенствованного испытательного реактора-сжигателя (ABTR) с целью демонстрации возможности трансмутации широкого спектра актинидов, а также инновационных технологий и конструктивных особенностей, важных для будущих промышленных демонстрационных установок. При осуществлении в США деятельности в рамках ГПЯЭ основное внимание уделяется газоохлаждаемым быстрым реакторам (GFR), быстрым реакторам со свинцовым теплоносителем (LFR) и модульным быстрым реакторам малой мощности с натриевым теплоносителем (SMFR).

V.1.5. Системы с использованием ускорителей (ADS)

66. Ускорители частиц в сочетании с подкритическими ядерными реакторами потенциально позволяют уменьшить образование долгоживущих радиоактивных отходов и осуществлять трансмутацию актинидов и некоторых долгоживущих продуктов деления.

67. В Китае деятельность в области НИОКР сосредоточена на физике и технологиях мощных ускорителей протонов (HPPA), реакторной физике подкритических активных зон с возбуждением от внешних источников, ядерных данных и исследованиях материалов. В Японии Японским агентством по атомной энергии (JAEA) предложена подкритическая зона мощностью 800 МВт(тепл.) на быстрых нейтронах с теплоносителем на основе эвтектики свинца-висмута и начаты исследования по концептуальному проектированию экспериментальной установки по трансмутации (TEF). В Республике Корея в рамках третьего этапа десятилетней программы, начатой в 1997 году, проводятся НИОКР по ADS-системе HYPER (гибридный реактор для производства энергии) Корейского научно-исследовательского института атомной энергии (KAERI). Они включают эскизное проектирование активной зоны HYPER и дальнейшие исследования важнейших технологий.

68. В Европе происходит сближение национальных программ НИОКР в Бельгии, Германии, Испании, Италии, Франции и Швеции с целью демонстрации основных аспектов концепции ADS. К ним относятся комплексные проекты EUROTRANS и EUROPART, осуществляемые в рамках программ Европейского союза. EUROTRANS ставит целью разработку предварительного проекта и вспомогательных технологий для европейской демонстрационной системы ADS. EUROPART направлен на разработку технологий топливного цикла, дополняющих системные технологии EUROTRANS.

69. В России к новейшим событиям в области НИОКР по ADS относятся разработка и сооружение в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне подкритической сборки (SAD) и выполненное в Российском научном центре «Институт Курчатова» в Москве обоснование концепций критических и подкритических реакторов на солевых расплавах с замкнутым ядерным топливным циклом.

V.1.6. ИНПРО и МФП

70. Число участников Международного проекта Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) достигло в 2006 году 28 после присоединения к нему Беларуси, Казахстана, Словакии и Японии. ИНПРО является открытым международным форумом для исследования 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. В рамках ИНПРО разработана применимая к

развивающимся и развитым странам методология оценки ИЯС с точки зрения экономики, безопасности, экологии, обращения с отходами, устойчивости с точки зрения нераспространения, физической защиты и инфраструктуры. В настоящее время проводится одиннадцать оценок ИЯС. Деятельность в рамках этапа 2 была начата в 2006 году. Она включает дальнейшее развитие методологии ИНПРО и разработку руководства для пользователей на основе данных текущих исследований по оценке и определению инновационных институциональных и инфраструктурных вариантов, способствующих внедрению ИЯС, включая рассмотрение региональных подходов, согласование процессов лицензирования и требований безопасности и новые методы финансирования с уделением особого внимания нуждам развивающихся стран. В рамках этапа 2 будет также осуществляться координация проектов сотрудничества, включая определение потребностей в НИОКР. В частности, в ИНПРО будут разработаны общие требования пользователей для ИЯС с уделением особого внимания реакторам малой и средней мощности и определены, совместно с держателями и пользователями технологий, мероприятия, необходимые для разработки и внедрения таких реакторов.

71. В 2006 году число членов Международного форума "Поколение IV" (МФП) достигло тринадцати после присоединения к нему Китая и России. Посредством системы контрактов и соглашений 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 IV поколения*: газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах, реакторов с жидкометаллическим теплоносителем - свинцовым сплавом, реакторов на солевых расплавах, реакторов с натриевым жидкометаллическим теплоносителем, сверхкритических водоохлаждаемых реакторов и сверхвысокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. Члены МФП в 2006 году подписали четыре "договоренности по системам", охватывающие сотрудничество в сферах систем, в которых используются реакторы с натриевым теплоносителем, газоохлаждаемые быстрые реакторы, сверхвысокотемпературные газоохлаждаемые реакторы и сверхкритические водоохлаждаемые реакторы. Эти договоренности обеспечивают основу для участия государств - членов МФП в совместных НИОКР по различным технологиям.

В.2. Термоядерный синтез

72. Исследования в области управляемого термоядерного синтеза успешно развиваются; следующей важной крупной целью является получение самоподдерживающегося горения плазмы. В деле достижения этой цели за последние годы достигнут значительный прогресс в области использования лазерной энергии и излучения в методе, называемом инерционным удержанием, или использования в устройствах, широко известных как токамаки, магнитных полей для удержания и слияния легких ядер дейтерия и трития. В настоящее время сооружаются большие новые установки; наиболее известной такой установкой с магнитным удержанием является Международный термоядерный экспериментальный реактор, ИТЭР. Партнеры этой уникальной международной научной инициативы по сооружению крупнейшей в мире экспериментальной термоядерной установки представляют более половины населения земного шара. 21 ноября 2006 года стороны ИТЭР подписали два официальных соглашения, согласно которым они обязуются построить ИТЭР в Кадараше, Франция: Соглашение о создании Международной организации ИТЭР по термоядерной энергии для совместной реализации проекта ИТЭР и Соглашение о привилегиях и иммунитетах Международной организации ИТЭР по термоядерной энергии для совместной реализации проекта ИТЭР. Депозитарием обоих соглашений является Генеральный директор МАГАТЭ, и в течение будущего года эти соглашения пройдут процесс ратификации в столицах государств-участников. ИТЭР, в переводе с латинского означающий «путь», станет важным этапом в

мирном использовании термоядерной энергии и позволит осуществить большую часть научных исследований для создания термоядерной установки следующего поколения с инерционным удержанием путем формирования научной и технологической основы для строительства термоядерной электростанции под названием «ДЕМО».

73. Инерционное удержание является основным подходом, используемым на нескольких проектируемых или сооружаемых в настоящее время установках, а именно на Национальной установке для термоядерного зажигания (NIF) в США, установке Laser Mega Joule (LMJ) во Франции и в программе Эксперимента по реализации быстрого зажигания в Японии.



Рис. В-1. Диагностика термоядерной плазмы (светящаяся плазма в токамаке ASDEX Upgrade, Германия)

74. Для того чтобы овладеть термоядерной энергией, необходимо решить трудные технологические задачи, настолько сложные в научном, технологическом отношении и по масштабам требуемых ресурсов, что ни одна отдельно взятая страна или небольшая группа стран не в состоянии проводить требуемые для этого научные исследования в течение длительных периодов времени. МАГАТЭ обеспечивает форум, оказывая содействие международному сотрудничеству, как было продемонстрировано на Конференции по энергии термоядерного синтеза, состоявшейся в Ченду, Китай, в октябре 2006 года. В ее работе участвовали свыше 700 ученых и инженеров - специалистов в области термоядерного синтеза из 39 стран, которые обменялись информацией о новейших результатах и достижениях.

75. Важной предпосылкой проведения экспериментальных термоядерных исследований является способность контролировать и анализировать характеристики плазмы (рис. В-1). Разработанная МАГАТЭ новая база данных по диагностике является значительным шагом вперед в обеспечении того, чтобы подобные исследования базировались на признанных в международных масштабах процедурах и данных. Были измерены и/или рассчитаны новые данные сечений для ряда зарядообменных процессов, позволяющие оценить температуру и давление плазмы.

С. Атомные и ядерные данные

76. Увеличивается число стран и их запросов в отношении обновленных и более точных баз атомных и молекулярных данных, которые требуются для обеспечения надежных и достоверных анализов в сфере ядерных применений, включая энергию ядерного деления. Одобрение строительства ИТЭР послужило поводом для аналогичного увеличения объема исследовательской деятельности в области термоядерного синтеза.

77. Для большей части проводимых технологических разработок и работ по созданию высококачественных баз данных требуется содействие Агентства. В последние годы

реализованы значительные международные и национальные инициативы, включая завершение конструирования и выпуск JEFF-3.1 (объединенной библиотеки оцененных ядерных и термоядерных данных) ОЭСР/АЯЭ в мае 2005 года и ENDF/B-VII (библиотеки файлов оцененных ядерных данных) в США в декабре 2006 года. Обе эти базы данных содержат рекомендованные ядерные данные, в которые включены результаты прогресса, достигнутого в ходе недавних непосредственных измерений; проектов Агентства по разработке данных и исследований по моделированию, отражающих углубленное понимание широкого диапазона ядерных процессов. Таким образом, качество измерений различных важных нейтронных сечений реакций постоянно повышается вследствие всеобъемлющих измерений, проводимых в США и Европе.

78. В 2006 году, в частности, было завершено создание базы данных по высокоточным нейтронным сечениям для непосредственного использования в исследованиях урано-ториевого топливного цикла; при проведении всеобъемлющих переоценок стандартов нейтронных сечений; применения атомных и молекулярных данных для диагностики термоядерной плазмы; а также базы данных по измерениям сечений для оптимального производства терапевтических радионуклидов в ядерной медицине. Были получены важные данные для количественного определения ковариантности неопределенностей в сечениях тория-232 и протактиния-231 и 232, и файлы этих данных были оперативно приняты в национальных и международных библиотеках ядерных применений. Аналогичным образом сообществом ядерных физиков была принята база данных по стандартам нейтронных сечений. Эти данные были повторно оценены для определенного ряда реакций и обеспечивают основу и эталоны для всех последующих измерений ядерных данных и оценок этих важных ядерных параметров.

D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

D.1. Ускорители

79. Материаловедение и биомедицинские исследования являются ведущими направлениями деятельности в области ускорителей, новых аналитических методов и усовершенствованных ядерных контрольно-измерительных приборов. В низкоэнергетическом режиме разрабатываются компактные и низковольтные аппараты, которые устанавливаются для специальных масс-спектрометрических применений с использованием радиоуглеродного ускорителя. С другой стороны, источники синхротронного излучения пользуются все большим спросом у широкого круга пользователей. В настоящее время в эксплуатацию вводятся следующие синхротроны: "Даймонд" в Соединенном Королевстве, "Солей" во Франции и "Австралийский синхротрон" в Австралии. Синхротроны "SESAME" в Иордании, "Индус-2" в Индии и "CANDLE" в Армении находятся в стадии проектирования или сооружения. Существует большой спрос на источники интенсивных нейтронных пучков для применения в материаловедческих и биомедицинских исследованиях, а также в исследованиях радиационного повреждения потенциальных материалов для использования в экстремальных условиях эксплуатации усовершенствованных ядерных и термоядерных реакторов.

D.2. Исследовательские реакторы

80. Основными применениями большинства исследовательских реакторов продолжают оставаться производство радиоизотопов, использование нейтронных пучков, легирование

кремния и облучение материала для ядерно-энергетических систем, а также обучение и подготовка персонала в целях развития кадровых ресурсов. Существует широкое разнообразие в технических характеристиках и потенциальных возможностях исследовательских реакторов, а также в характере их эксплуатации и использования. Таблицы D-1 и D-2 и диаграммы D-1 и D-2 основаны на данных, имеющихся в Базе данных Агентства по исследовательским реакторам (RRDB).

81. Среди новых исследовательских реакторов, о строительстве которых сообщалось в *"Обзоре ядерных технологий - 2006"*, австралийский бассейновый легководный ядерный реактор (OPAL) осуществил первый выход на критичность 12 августа 2006 года, а 3 ноября 2006 достиг своей полной эксплуатационной мощности в 20 МВт. К 2007 году запланирован ввод в эксплуатацию китайского усовершенствованного исследовательского реактора (CARR), на котором в качестве основных видов деятельности будет осуществляться производство радиоизотопов, легирование кремния и использование нейтронных пучков. Реактор TRIGA-II в Марокко находится в стадии ввода в эксплуатацию.

82. Реактор OPAL представляет собой реактор бассейнового типа мощностью 20 МВт, в котором используются топливо, содержащее низкообогащенный уран (НОУ) (урановосилицидное топливо), и вода в качестве охладителя. Это - многоцелевой исследовательский реактор, который будет использоваться для производства радиоизотопов, облучения и исследований с применением нейтронных пучков. Его малогабаритная активная зона предназначена для достижения высоких рабочих показателей при производстве нейтронов. На реакторе OPAL планируется использовать восемь приборов с нейтронными пучками. Эта установка может быть дополнительно расширена и имеет потенциальные возможности для строительства второго зала управления нейтронными пучками. Комплект оборудования позволит проводить исследования при различных температурах, давлениях и магнитных полях.

83. Ожидается, что упомянутые выше установки будут открыты для сообщества как национальных, так и международных пользователей на основе разделения времени, как это делается на аналогичных установках в Гренобле во Франции и FRM-II в Германии.

84. С учетом возрождения интереса к ядерной энергии и новых разработок в области энергии термоядерного синтеза использование исследовательских реакторов для материаловедческих исследований продолжает привлекать большое внимание, и исследовательские реакторы будут играть важную роль в разработке материалов для усовершенствованных реакторов. Кроме того, посредством регионального сотрудничества и сетевого обеспечения развивается более эффективное управление, использование ресурсов и распространение экспертных знаний в области исследовательских реакторов, в особенности в том, что касается применения нейтронных пучков и производства радиоизотопов для удовлетворения региональных потребностей.

Таблица D-1. Географическое распределение исследовательских реакторов в соответствии с функциональным состоянием реактора

	Эксплуатируется	Остановлен	Снят с эксплуатации	Сооружается	Запланирован	Всего
Африка	9	1	0	1	1	12
Америка	66	127	73	2	1	269
Азия и Тихий океан	55	18	10	6	1	90
Европа	115	96	87	1	1	300
Всего	245	242	170	10	4	671

Таблица D-2. Географическое распределение находящихся в эксплуатации исследовательских реакторов в соответствии с уровнем мощности реактора

	$P \leq 100$ кВт	$0,1 < P \leq 1$ МВт	$1 < P \leq 10$ МВт	$P > 10$ МВт	Всего
Африка	2	2	2	3	9
Америка	30	19	13	4	66
Азия и Тихий океан	23	6	15	11	55
Европа	65	11	18	21	115
Всего	120	38	48	39	245

85. Программа по пониженному обогащению топлива для исследовательских и испытательных реакторов (RERTR) предназначена для перевода исследовательских реакторов, использующих топливо, содержащее высокообогащенный уран (ВОУ), на топливо на основе НОУ. К концу 2006 года сорок восемь исследовательских реакторов были переведены на топливо на основе НОУ, и около 45 других реакторов могут быть переведены с имеющимся топливом на основе НОУ. Однако для перевода некоторых конкретных исследовательских реакторов с ВОУ на НОУ необходимо ураново-молибденовое топливо весьма высокой плотности, в особенности для определенных высокопроизводительных операций. Разработка таких видов топлива полезна также для расширения вариантов обращения с отработавшим топливом исследовательских реакторов на конечной стадии, поскольку это топливо будет подлежать переработке с использованием имеющихся в настоящее время технологий и установок. В этой связи представляется необходимой постоянная поддержка международной координации разработки и аттестации высокоплотного топлива на основе НОУ. В ходе первоначальных испытаний под облучением ураново-молибденового дисперсного топлива весьма высокой плотности, которые начались в конце 1990-х годов, было установлено, что это топливо под облучением ведет себя обнадеживающе. В результате последующих экспериментов, которые проводились в различных странах, были выявлены недостатки в поведении топлива при высоких мощности и температуре. Подробные исследования после облучения показывают, что вопрос характеристик топлива возникает не из-за низких характеристик частиц ураново-молибденового топлива, а в результате набухающего поведения реакционного слоя, образующегося между топливом и алюминиевой матрицей во время облучения. Спрос на низкообогащенные виды топлива весьма высокой плотности требует разработки детальной программы развития производства топлива, определения внереакторных свойств, проведения испытаний под облучением и послереакторных исследований, а также оценки и моделирования характеристик топлива. Имеются некоторые потенциальные средства для исправления известных проблем, связанных с характеристиками топлива: они охватывают диапазон от внесения относительно незначительных изменений в химию топлива и матрицы до замены алюминиевой матрицы другим материалом или до ликвидации матрицы вообще (монокристаллическое топливо). В настоящее время все эти варианты исследуются совместно Аргентиной, Германией, Канадой, Республикой Корея, Россией, США и Францией. Сообщения о полученных в последнее время результатах послереакторных исследований, проводившихся в рамках различных экспериментов, свидетельствуют о том, что добавление от 2% до 5% кремния в алюминиевую фазу дисперсного ураново-молибденового топлива эффективно решает проблему набухания при высоких мощности и температуре. В настоящее время проводится интенсивное исследование в направлении разработки монокристаллического ураново-молибденового топлива весьма высокой плотности.

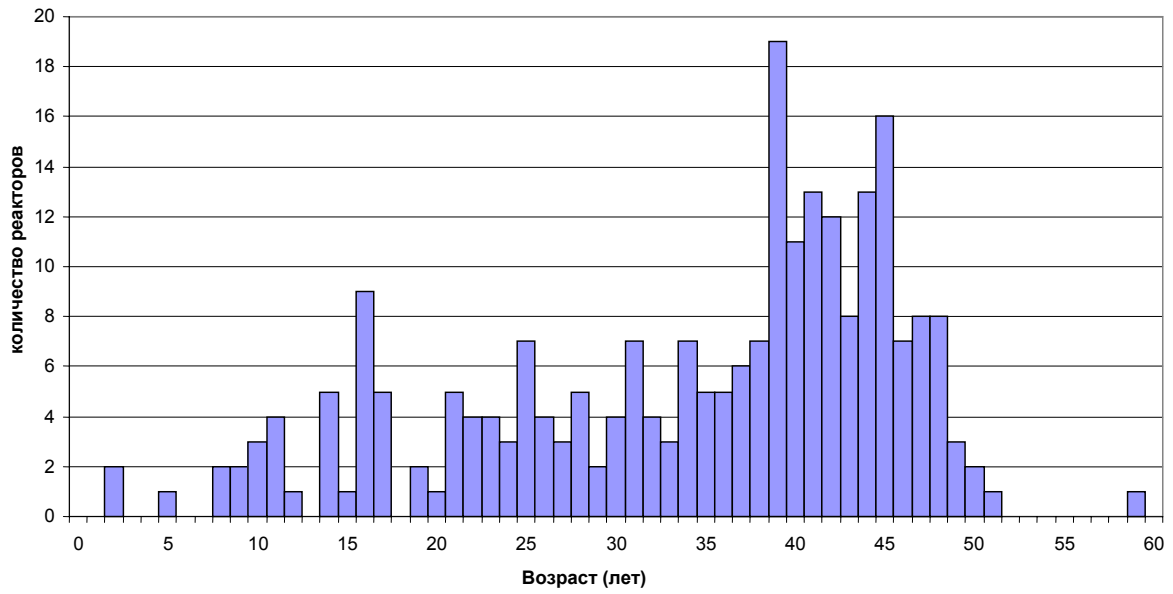


Диаграмма D-1. Распределение по возрасту исследовательских реакторов, находящихся в эксплуатации.



Диаграмма D-2. Установленная мощность исследовательских реакторов, находящихся в эксплуатации, в МВт (Всего = 2 938,2 МВт)

Е. Применения радиоизотопов и радиационная технология

Е.1. Применения радиоизотопов в сфере здравоохранения¹⁴

86. Радиоизотопы вносят значительный вклад в совершенствование здравоохранения в большинстве стран. Во всем мире наблюдается рост числа медицинских процедур с использованием изотопов, а также соразмерный ему рост числа процедур, требующих различных изотопов, например, в диагностической ядерной медицине и радионуклидной терапии. Более чем 60 исследовательских реакторов во всем мире играют центральную роль в производстве медицинских радиоизотопов, и в ряде стран ведется строительство или проектируется сооружение, по крайней мере, 11 реакторов. Как показано в недавно проведенном Агентством обследованием¹⁵, по оценкам имеется также около 350 циклотронов, многие из которых целенаправленно используются для производства изотопов для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

87. В последнее время наиболее существенное увеличение спроса на изотопы было связано с ростом спроса на производимый с помощью циклотрона фтор-18 в виде фтордезоксиглюкозы (FDG/¹⁸FDG) для применений в ПЭТ для обнаружения, определения стадии и последующего лечения различных видов раковых образований, а также на производимый с помощью реактора лютеций-177 для радионуклидной терапии, который используется, например, для мечения пептидов, применяемых в лечении нейроэндокринных опухолей, или для мечения фосфонатов, применяемых в паллиативном лечении болей в костях. Кроме того, налицо высокий спрос на иттрий-90 для радионуклидной терапии, и в этой связи возрастает интерес к выделению из отработавшего топлива и очистке материнского радионуклида стронций-90. С ростом числа отделений ПЭТ в медицинских центрах возрастает интерес к радионуклидам, испускающим позитроны, которые получают с помощью генераторов радиоизотопов, в частности германию-68/галлию-68. Наличие таких генераторов не только помогает в проведении обследований с помощью ПЭТ в центрах, которые не имеют собственных циклотронов, но и повышает качество информации, получаемой от визуализации опухолей с помощью ПЭТ с использованием продуктов на галлии-68. Благодаря преимуществам использования меди-64/меди-62 для ПЭТ-визуализации и дозиметрии возрастает интерес к радиоизотомам меди.

Е.2. Радиационная технология

88. В 2006 году были проведены три крупных международных совещания, а именно Международное совещание по радиационной обработке (IMRP-2006), 11-й Тиханьский симпозиум по радиационной химии и 7-й Международный симпозиум по ионизирующему излучению и полимерам (IRaP-2006), и на них рассматривались как фундаментальные, так и прикладные аспекты радиационной технологии, среди которых особо подробно обсуждались вопросы радиационной прививки полимеров. Излучения предлагают весьма выгодные методы прививки, определяемые как возможность выращивания или наращивания одного материала на основе другого.

¹⁴ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2007*.

¹⁵ Directory of Cyclotrons used for Radionuclide Production in Member States, 2006, IAEA-DCRP/CD.

Е.2.1. Радиационная прививка полимеров

89. Нынешние тенденции в исследованиях на основе НИОКР свидетельствуют о том, что в настоящее время радиационная прививка полимеров развивается по трем главным направлениям: адсорбенты, мембраны и использования в медицине и биотехнологии. В случае полимерных материалов, "один" материал – это как правило типично мономер, а "основа" - полимер или другое твердое вещество. Между привитой частью и материалом образуется химическая связь. На рис. Е-1 ниже на примере Японии демонстрируется эволюция промышленных применений радиационной обработки, включая прививку полимеров.

Полимерные адсорбенты

90. Привитая полимеризация применяется в промышленности в технологии производства адсорбентов ионов металлов и зловонных газов. Исследования и разработки в области синтеза адсорбентов ионов металлов путем использования методов прививки предварительным облучением позволили получить адсорбенты, которые могут применяться для удаления ионов токсичных металлов, таких, как мышьяк, свинец и кадмий, и восстановления металлов, таких, как уран и скандий.



РИС. Е-1: Эволюция промышленных применений лучевой обработки

Полимерные мембраны

91. Топливные элементы – это многообещающий источник питания для стационарных и портативных применений. Рабочие характеристики топливного элемента в значительной степени зависят от основы элемента - мембраны, которая должна быть устойчивой к враждебной водородной и кислородной среде при повышенных температурах. Мембрана действует как разделитель для предотвращения смешивания газов-реагентов, а также как электролит для переноса протонов от анода к катоду. В настоящее время один из наиболее многообещающих путей получения недорогих проводящих протоны полимерных электролитических мембран – это использование методов радиационной прививки. Этот метод позволяет использовать широкое разнообразие базовых пленок и мономеров, которые могут быть приспособлены для конкретных применений. Мембраны, изготовленные методом радиационной прививки, - это экономически конкурентоспособный вариант, поскольку предполагает использование недорогих, коммерчески доступных материалов.

Полимеры для использования в медицине и биотехнологии

92. Большой интерес для регенеративной медицины представляет возможность восстановления различных тканей и органов с помощью передовых технологий. При методе, известном как "построение двумерных клеточных структур", используются поверхности, покрытые чувствительными к температуре культурами, которые создаются индуцируемой излучением прививкой чувствительных к температуре полимеров с помощью облучения электронным пучком. Толщина и плотность привитого полимера точно регулируются в нанометрическом режиме. Эти поверхности позволяют осуществлять неинвазивный забор клеток простым температурным регулированием. Забираемые таким образом двумерные клеточные структуры используются для реконструкции различных тканей, включая поверхности глаза, периодонтальные связки, сердечные "заплатки", пищевод и различные другие ткани.

Г. Ядерные методы в продовольственной и сельскохозяйственной областях

Г.1. Изотопы в почве для отслеживания загрязнителей

93. Изотопные и ядерные методы играют важную роль в определении источника загрязнителей, являющихся результатом различной практики землепользования и сельскохозяйственной деятельности¹⁶. Если конкретные источники загрязнителей неизвестны, то специалисты по экологическому планированию, работники сельского хозяйства или лица, ответственные за разработку политики, сталкиваются с трудной задачей определения наиболее подходящей стратегии управления для уменьшения воздействия загрязнителей. Например, удобрения и навоз, применяемые для содействия росту растений, и пестициды, используемые для борьбы с болезнями растений и животных, могут стать загрязнителями при проникновении в ручьи, озера и реки. В такой водной среде они могут быть токсичными для рыб, способствовать чрезмерному росту водорослей в водотоках и оказывать потенциальное негативное воздействие на рекреационную деятельность, нанося тем самым экономический ущерб индустрии туризма. Стабильные изотопы и содержащиеся в выпадениях радионуклиды, которые находятся в пробах почвы, воды или отложений, точно указывают источники

¹⁶ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2007*.

появления этих сельскохозяйственных загрязнителей в водосборах. Содержащиеся в выпадениях радионуклиды, такие, как цезий-137, свинец-210 и бериллий-7, - это аэрозольные радиоактивные осадки, появляющиеся в результате деятельности человека, такой, как испытания ядерного оружия, и из других источников, прежде всего вследствие чернобыльской аварии, а также в результате естественного столкновения космических лучей. Эти содержащиеся в выпадениях радионуклиды оказываются в частицах почвы и поэтому могут быть использованы в качестве характерных признаков для отслеживания перемещения частиц почвы из их источника в сельскохозяйственном водосборе в водотоки. Кроме того, удобрения, навоз, пестициды и экскременты пастбищных животных, попадающие в сельскохозяйственный водосбор, имеют отличительные сигнатуры стабильных изотопов (например, углерода-13 и азота-15). Таким образом, конкретные районы в рамках водосбора могут иметь определенно разные сигнатуры стабильных изотопов (природные биомаркеры) вследствие различного сельскохозяйственного использования земель и разных особенностей пастбищного животноводства. Эти разные сигнатуры являются "инструментом экспертизы" в экологическом почвоведении для проверки происхождения в водотоках самых разных загрязнителей, таких, как нитраты, фосфаты и пестициды.

94. Исследования почвы с использованием сигнатур стабильных изотопов помогают также в понимании изменения климата. Такие изотопы, как углерод-13 и азот-15, могут быть использованы в качестве характерных признаков для изучения того, как почва играет роль поглотителя парниковых газов. Предполагается, что изменения в содержащихся в почве изотопах углерода и азота отражают изменения, происходящие в находящихся в почве органических веществах под воздействием колебаний уровня парниковых газов в атмосфере и деятельности по землепользованию.

Ф.2. Улучшение сельскохозяйственных культур

95. Индуцирование мутаций играет важную роль в создании новых и улучшенных сортов сельскохозяйственных культур. В последнее десятилетие произошли активизация и дальнейшее расширение исследований влияния индуцирования мутаций на улучшение сельскохозяйственных культур, в рамках которых определяется и анализируется роль конкретных генов.

96. Данная технология используется для выведения сортов сельскохозяйственных культур с улучшенными питательными свойствами, включая сокращение числа антипитательных веществ. Генетические изменения в результате индуцированных мутаций меняют экспрессию генов и затрагивают различные биохимические процессы. Например, оксалат кальция (соединение, имеющее форму игольчатых кристаллов и содержащееся в различных ядовитых растениях) - это не питательное вещество или полезный источник кальция и в больших дозах может быть токсичным. Он содержится во многих листовых богатых питательными веществами овощах, в том числе в шпинате, листовой свекле и других съедобных овощах. Сведение к минимуму содержания оксалата с помощью индуцирования мутаций может сделать овощи более питательными и усвояемыми.

97. Изучается мутагенное воздействие космических лучей и их роль в естественных мутациях и эволюции. После первых международных экспериментов, которые были проведены в 70-х годах XX века на корабле "Аполлон-16" и в ходе которых изучалось воздействие космических лучей на различные организмы, Академия сельскохозяйственных наук Китая начала осуществление "программы космической селекции", в рамках которой был выведен целый спектр новых мутантных сортов, включая высокоурожайные сорта риса, устойчивые к пирикуляриозу, и овощи, такие, как томаты и перец, с огромным размером плодов.

98. Картирование радиационных гибридов – это метод, основывающийся на том, что соматические клетки подвергаются смертельным дозам гамма- или рентгеновского излучения в целях разделения хромосом. Последние затем спасаются посредством ввода их в микроячейки, которые впоследствии сливаются с подходящими приемными клетками. Этот метод был разработан для содействия определению структуры генома человека, и данная методология, которая позволяет картировать целые геномы, стала в настоящее время применяться в отношении растений. Для подробного анализа и определения структуры геномов были составлены карты радиационных гибридов ряда сельскохозяйственных культур, таких, как ячмень, кукуруза, пшеница и хлопок, что будет содействовать определению и передаче генов, влияющих на полезные агрономические, качественные характеристики и устойчивость к стрессу, в целях улучшения сельскохозяйственных культур.

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

99. Молекулярные и связанные с ядерной областью технологии играют и будут и впредь играть важную роль в деятельности по увеличению поголовья скота и объема животноводческой продукции и повышению их качества. Усилия направлены на идентификацию, манипуляцию, определение характеристик и радиоиндикаторное исследование белков, ДНК и РНК. Развитие технологий обнаружения, таких, как фосфорная визуализация, микрожидкостная технология, позволяющая получать результат анализа проб в рамках одной операции, и применение нанотехнологий открывают возможности для внедрения и использования более чувствительных, быстрых и надежных устройств, функционирующих как в лабораторных, так и в полевых условиях.

100. Все более широко в животноводстве и ветеринарии используются стабильные изотопы. Меченные углеродом-13 или азотом-15 корма или добавление меченных углеродом-13 или азотом-15 соединений непосредственно в рубец (первый отдел желудка жвачных животных) позволяют получить четкое представление о метаболизме усвоения углеводов, белков и питательных веществ. Получаемый навоз жвачных животных может быть также использован для картирования поведения углерода и азота в почве и растениях. Такая информация помогает разрабатывать стратегии оптимального использования кормов и повышать эффективность и устойчивость всей системы животноводства. Сопоставление сигнатур стабильных изотопов в жидкостях животных или животноводческой продукции с теми же сигнатурами в потенциальных кормах позволяет фиксировать выбор рациона и его изменения и может быть использовано для установления различий в усвоении тропических трав и других кормов. Эта же информация может быть также использована для неинвазивного определения происхождения животноводческой продукции. Этот подход может быть потенциально использован для определения возможной роли, которую играют дикие животные как переносчики болезней животных; в качестве примера можно привести влияние перелетных птиц на распространение птичьего гриппа из эндемической в незараженную местность. 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. Обычно концентрация окиси дейтерия в жидкостях тела измеряется с помощью изотопной масс-спектрометрии, но последние исследования показывают, что той же точности можно добиваться и при использовании относительно недорогого метода инфракрасной спектроскопии.

Г.4. Метод стерильных насекомых для борьбы с насекомыми-вредителями

101. Во всех программах борьбы с насекомыми-вредителями на обширных территориях в настоящее время для стерилизации используются радиоизотопные облучатели, что является проверенной и надежной технологией. Вместе с тем с перезагрузкой существующих источников излучения и приобретением и международной перевозкой новых источников возникают проблемы, и, как минимум, один крупный производитель вообще ушел с рынка. Разрабатывается альтернативная технология с использованием облучения рентгеновскими лучами, и на новой установке по стерилизации мясной мухи в Панаме будет использоваться исключительно рентгеновское излучение. Вполне вероятно, что в будущем произойдет существенное расширение разработки и использования рентгеновских аппаратов в рамках метода стерильных насекомых (МСН) и соответствующих программ.

Г.4.1. Борьба с плодовой мухой с помощью МСН

102. Продолжается расширение использования МСН в качестве компонента комплексных программ борьбы с основными насекомыми-вредителями на обширных территориях, и в 2006 году было введено в эксплуатацию несколько новых установок. В сентябре 2006 года в Жуазейру, штат Баия, Бразилия, пущена установка по массовому разведению средиземноморской плодовой мухи, на которой первоначально будет разводиться около 100 миллионов стерильных самцов в неделю. Установка была сооружена при содействии, в частности, программы технического сотрудничества Агентства и будет обслуживать быстро развивающиеся районы коммерческого производства фруктов (манго, винограда и т. д.) в различных зонах орошения вдоль реки Сан-Франсиску в засушливом северо-восточном регионе Бразилии. При будущем расширении установки предполагается также разведение некоторых видов плодовой мухи *Anastrepha* и массовое разведение паразитоидов плодовой мухи. Возможности проекта по сокращению применения инсектицидов посредством подавления популяции плодовой мухи экологически безопасным методом весьма велики. Конечная цель – ликвидировать дорогостоящую послеуборочную обработку посредством создания официально признанных торговыми партнерами территорий, характеризующихся незначительной распространенностью плодовой мухи и свободных от нее.

103. В Испании в крупном регионе производства цитрусовых в провинции Валенсия построена еще одна установка по разведению и стерилизации средиземноморской плодовой мухи, на которой будет разводиться 400 миллионов стерильных самцов в неделю. Техническое содействие обеспечивалось в соответствии с меморандумом о взаимопонимании между Объединенной программой ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам в продовольственной и сельскохозяйственной областях и департаментом сельского хозяйства, рыболовства и продовольствия правительства Валенсии.



Районы выращивания яблок и груш в Патагонии, Аргентина.

104. Целый регион Патагонии в Аргентине в настоящее время официально признан Инспекционной службой по здоровью животных и растений (АПХИС) Соединенных Штатов Америки в качестве первого района страны, свободного от плодовой мухи. Этот крупный успех стал кульминацией десятилетних совместных усилий федерального и провинциальных

правительств и плодоовощной промышленности. Эти усилия предпринимались при техническом содействии национальных и международных организаций, в том числе Национального института сельскохозяйственных технологий (ИНТА), ФАО и Агентства. Это достижение позволит Патагонии экспортировать свежие фрукты и овощи в США без какой-либо карантинной обработки, что, по данным Национальной службы по санитарии и качеству продуктов сельского хозяйства (СЕНАСА), обеспечит годовую экономию 2 млн. долл. После этого успеха министерство сельского хозяйства, животноводства, рыболовства и продовольствия в настоящее время объявило о своем согласии финансировать начало осуществления новой программы борьбы с плодовой мухой также с использованием МСН на территории в 56 000 гектаров, включающей основные аргентинские провинции производства цитрусовых (Энтре-Риос и Корриентес) на северо-востоке страны.

Ф.4.2. Борьба с мясной мухой с помощью МСН

105. В июле 2006 года в Панаме была введена в эксплуатацию новая установка по разведению около 100 миллионов американской мясной мухи. В последние три десятилетия программа ликвидации мясной мухи успешно реализовывалась благодаря установке по массовому разведению Мексиканско-американской комиссии по ликвидации мясной мухи, которая базируется в Тукстла-Гутьерресе, штат Чиapas, Мексика, и которая обеспечивала стерильными насекомыми все кампании по ликвидации мясной мухи в Мексике, Центральной Америке и Карибском бассейне. В последние годы она существенно сократила свою мощность и поставляла также стерильных мух для поддержания барьера стерильных насекомых в восточной части Панамы и осуществления программы ликвидации мясной мухи на Ямайке.

Ф.4.3. Борьба с москитами с помощью МСН

106. Проявляется интерес к применению МСН не только для борьбы с малярийными москитами рода *Anopheles*, но и с москитами-переносчиками таких вирусных заболеваний, как денге и чикунгунья. В Римини, Италия, начато осуществление экспериментального пилотного проекта по использованию МСН для борьбы с москитами *Aedes albopictus*, переносчиками денге. Разработаны методы разведения большого числа куколок самцов для стерилизации и выпуска. В районе Римини был произведен выпуск значительного числа стерильных самцов, что оказало ощутимое воздействие на плотность популяции насекомых-переносчиков заболевания. Этот же вид москитов был также причиной недавней крупной эпидемии лихорадки чикунгунья на островах Индийского океана, особенно на Реюньоне.

Ф.5. Качество и безопасность пищевых продуктов

Ф.5.1. Контроль безопасности: измерение остатков пестицидов

107. Для осуществления программ контроля безопасности пищевых продуктов существенное значение имеют проверенные методы анализа. Необходимо оптимизировать результативность и применимость таких методов в лабораториях развивающихся стран. Кроме того, согласно требованиям соответствующих лабораторных протоколов по обеспечению качества при сообщении о результатах дается оценка их соответствующей погрешности. Группа по агрохимикатам лабораторий Агентства в Зайберсдорфе оказала содействие в составлении таких протоколов для использования меченных радиоактивными изотопами соединений в целях оптимизации подготовки, взятия, очистки и анализа проб при разработке методов хроматографического анализа, которые будут использоваться в рамках регулирующих программ для анализа остатков пестицидов и других загрязнителей в пробах пищевых продуктов и окружающей среды. Протоколы оказывают также помощь в оценке погрешности измерений, связанных с этими методами.

G. Здоровье человека

G.1. Достижения в области ядерной кардиологии

108. Инновационные стратегии использования ядерных методов обеспечили прогресс в области ядерной кардиологии от оценки кровотока в коронарных сосудах, снабжающих сердечную мышцу, и ее способности подавать кровь в основные артерии до молекулярной визуализации. Объединение информации, получаемой в результате позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) и применения современных сканеров компьютерной томографии (КТ), в рамках комбинированных систем ПЭТ-КТ позволяет в настоящее время оценивать болезни коронарных артерий на очень раннем этапе. Эта технология имеет особенно важное значение для пациентов с такими заболеваниями, как диабет, гипертония и повышенный уровень липидов в крови. Эта сложная структурная и молекулярная информация на клеточном уровне позволяет проводить индивидуальную оценку риска будущих тяжелых и, возможно, смертельных заболеваний миокарда. Индивидуальная оценка риска позволяет давать рекомендации в отношении изменения образа жизни или раннего медицинского вмешательства в целях замедления хода сердечно-сосудистого заболевания и сокращения числа соответствующих факторов риска.

109. С клинической точки зрения, выбор наиболее подходящих методов диагностики на разных этапах сердечно-сосудистого заболевания будет зависеть от особенностей клинических условий и конкретной ставящейся задачи. При уделении все большего внимания профилактике и одновременном старении населения в развитых и развивающихся государствах-членах неинвазивная кардиологическая визуализация будет продолжать развиваться и оказывать влияние на лечение пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями во всем мире.

G.2. Современная лучевая терапия

110. В лучевой терапии выявление и определение размеров опухолей с помощью ПЭТ/КТ и магнитно-резонансной визуализации (МРВ) позволяют при планировании лучевой терапии учитывать анатомические особенности, определенные благодаря КТ, и молекулярную визуализацию, полученную благодаря технологиям ПЭТ и МРВ.

111. Все более популярным становится использование новых методов лучевой терапии. Трехмерная конформная лучевая терапия (3М-КЛТ) включает методы виртуального моделирования или моделирования с помощью КТ и планирование трехмерного лечения. Ее цель – распределить дозу, получаемую под воздействием пучков излучения, в более точном соответствии с объемом опухоли посредством направления пучков в трех направлениях. На основе 3М-КЛТ появилась лучевая терапия с модуляцией интенсивности дозы (ЛТМИ). План распределения дозы сначала составляется врачом, как и в обычной лучевой терапии, но затем с помощью весьма сложных компьютерных алгоритмов определяется оптимальная конфигурация направлений и интенсивности каждого из пучков в целях обеспечения предписанного распределения дозы к объему. Операция осуществляется линейным ускорителем, оснащенным многолепестковым коллиматором (МЛК). Аппарат под названием "Кибернож" приводится в движение роботом и позволяет повысить точность узконаправленных пучков излучения. ЛТМИ может быть использована для обеспечения значительно более конформного распределения дозы, чем можно добиться при стандартной 3М-КЛТ. Это, в свою очередь, означает возможность существенного уменьшения объема нормальной ткани, подвергаемой высоким дозам облучения. Вместе с тем, хотя очень точное распределение дозы значительно смягчает отрицательные последствия лучевой терапии (смертность), еще предстоит определить, растет ли число вылечиваемых пациентов или продлевается ли их жизнь на более длительный срок по сравнению с применением более простых технологий.

112. Быстро развиваются также методы преодоления проблемы перемещения опухолей и органов. Части тела перемещаются как в период сеансов лучевой терапии, так и между ними вследствие дыхания, пищеварения и небольших отличий в положении пациента во время каждого сеанса. Такое перемещение может приводить к получению чрезмерной дозы нормальными тканями, окружающими опухоль, и неправильному лечению самой опухоли. Лучевая терапия, управляемая по объемным изображениям (ЛТУИ), предусматривает визуализацию пациента, находящегося в положении для лечения на столе, непосредственно перед сеансом и во время него. Она используется для определения изменений в положении опухоли и органов и отслеживания перемещений, что позволяет корректировать лучевую терапию с учетом их нынешнего положения. В соответствии с системой дыхательного "затвора", которая включает и отключает пучок лучей синхронно с дыханием, можно ограничить лечение частью дыхательного цикла, когда опухоль находится на одном уровне с пучком, и тем самым увеличить дозу, получаемую опухолью, и уменьшить дозу, приходящуюся на окружающие ее ткани. В комбинированной томографическо-терапевтической установке (см. рис. G-1) линейный ускоритель заменяет рентгеновскую трубку, и лечение осуществляется в условиях вращения линейного ускорителя вокруг пациента и модуляции дозы облучения с использованием бинарного многолепесткового коллиматора (МЛК). Одновременно с лечением детектор регистрирует излучение линейного ускорителя, проходящее через пациента, и делаются изображения очень высокого качества. С учетом степени достигнутой сложности данный процесс и ЛТУИ в целом получили название адаптивной лучевой терапии (АЛТ).

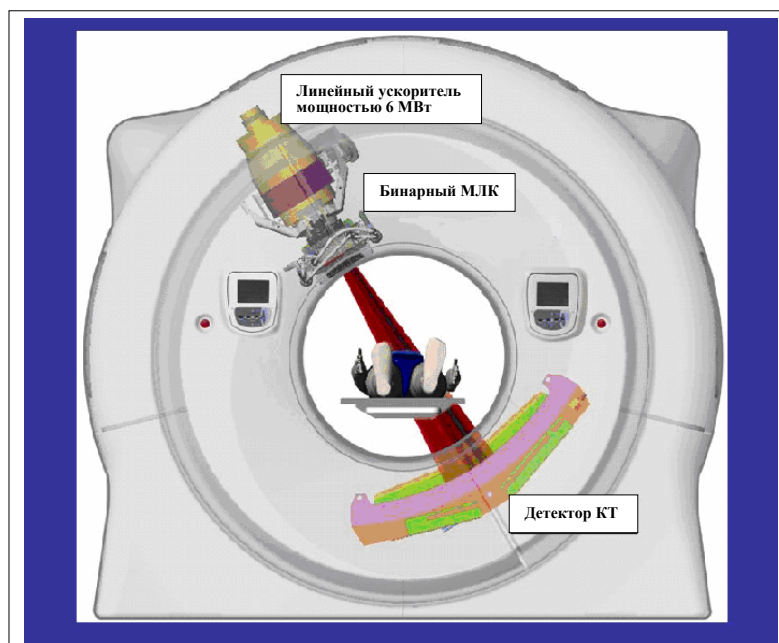


Рис. G-1. Комбинированная томографически-терапевтическая установка.

G.3. Питание

113. Нынешняя глобальная ситуация, когда, с одной стороны, 170 миллионов детей имеют дефицит массы тела, а недоедание является важным фактором в более половине случаев смерти всех детей во всем мире и, с другой стороны, более миллиарда взрослых страдают от избыточной массы тела, безусловно, свидетельствует о настоятельной необходимости эффективной нутритивной поддержки. Данное явление известно под названием "двойного бремени неправильного питания". Оно ведет к серьезной нагрузке на системы здравоохранения в странах, где одновременно с сохраняющимся широким распространением недоедания и инфекционных заболеваний все чаще требуется лечение болезней, связанных с питанием, таких, как сердечные заболевания и диабет.

114. Использование ядерных методов, в частности методов стабильных изотопов, может оказать содействие в разработке и оценке нутритивной поддержки. Так, деятельность Агентства в области питания человека посвящена важному значению профилактики и лечения неполноценного питания в период "окна возможностей", т. е. во время беременности и в первые два года жизни ребенка.

115. Одним из примеров развития в последнее время прикладной диетологии является более широкое применение этих методов в программах питания в развивающихся странах. Расширение доступа к аналитическому оборудованию, такому, как изотопные масс-спектрометры (ИМС), специально предназначенные для осуществления проектов в области питания, будет в значительной степени способствовать активизации применения метода стабильных изотопов в ближайшем будущем. Особый интерес представляет разработка в последнее время менее дорогостоящего оборудования, такого, как инфракрасный Фурье-спектрометр (ИКФС), для анализа дейтерия (стабильного изотопа водорода) с целью оценки композиционного состава тела и измерения потребления грудными младенцами материнского молока.

Н. Вода и окружающая среда

Н.1. Изотопные данные для управления водными ресурсами

116. Наличие и распределение водных ресурсов в поверхностных водоемах и водоносных горизонтах в значительной степени определяются преобладающим климатическим режимом. Более глубокое понимание процессов круговорота воды и потенциальных последствий изменения климата было признано в качестве ключевого элемента усилий по устойчивому управлению водными ресурсами. Изучение изотопного состава осадков, воды рек и подземных вод — особенно стабильных изотопов кислорода и водорода и трития — помогает понять связи между круговоротом воды и климатом. Поэтому изотопные данные чрезвычайно полезны в выяснении воздействия изменчивости климата на водные ресурсы. Проводимые в настоящее время во всем мире исследования по определению скоростей аккумуляции и исчезновения ледников в основном основаны на изотопном анализе кернов льда и изучении их связи с изотопами в нынешних осадках. Другие аспекты применения изотопных методов для целей управления водными ресурсами также основываются на исследовании изотопного состава современных осадков.

117. Признавая это важное применение изотопных данных, ряд стран принимает меры, направленные на расширение наличия изотопных данных в национальных масштабах. В 2006 году в Индии было начато осуществление проекта по сбору и интерпретации изотопного состава осадков, речного стока и подземных вод. Таиланд также начал аналогичную работу по созданию национальной базы данных.

118. Эти национальные усилия еще более укрепят Глобальную сеть изотопов в осадках (ГСИО), которая действует в МАГАТЭ с 1961 года. Распределение изотопов кислорода в осадках, измеренное в январе - в типичном холодном месяце в северном полушарии, представлено на рисунке Н-1, который иллюстрирует сильную температурную зависимость изотопов (на более холодных территориях отмечаются более низкие отношения изотопов.) Изотопные данные ГСИО обеспечивают странам инструмент для обоснованной интерпретации и использования национальных или локальных изотопных данных. Помимо того, что данные

ГСИО помогают понять процессы воздействия климата на круговорот воды, они чрезвычайно важны для таких разнообразных применений, как оценка и рациональное использование ресурсов подземных вод, идентификация источников загрязнения, и для аутентификации происхождения овощей и фруктов.

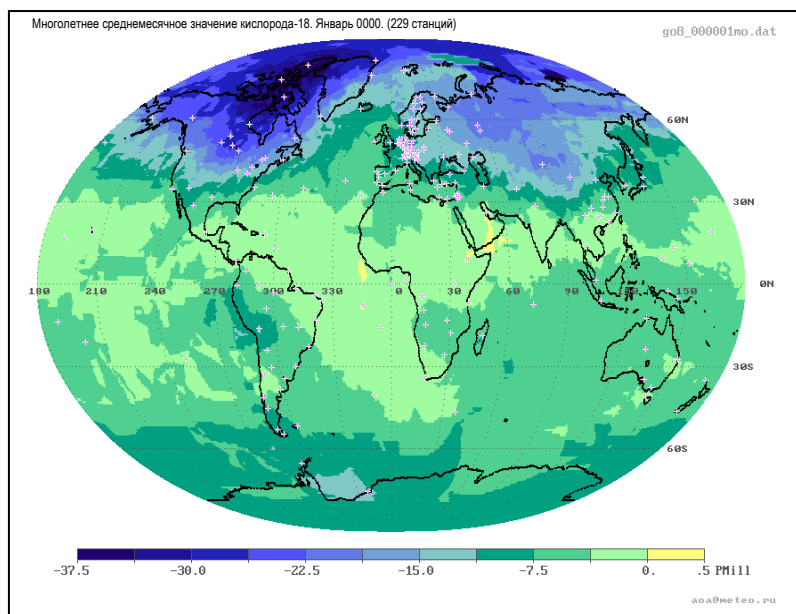


Рис. Н-1. Температурная зависимость изотопов: изотопы кислорода в январе

Н.2. Морская и земная среды

Н.2.1. Микроанализ радиоактивных частиц в морских отложениях

119. Основная масса естественных и искусственных радионуклидов, поступающих в морскую среду, связана с частицами биологического, минерального или ядерного происхождения. Известно, например, что в океане происходит осаждение природных радиоизотопов полония, тория и свинца вместе с морскими частицами на больших глубинах океана¹⁷. Некоторые антропогенные радионуклиды, обнаруженные в морских отложениях, проявляются в микроскопических 'горячих частицах'. Такие частицы представляют собой точечные источники возможной радиологической значимости в случае их поглощения морскими организмами или людьми, и необходима долгосрочная оценка горячих частиц в океанах, их свойств и биогеохимического поведения. В настоящее время имеется целый арсенал микровизуализационных и аналитических методов, включая растровую электронную микроскопию, микро-рентгеновские методы с применением синхротрона и микро-масс-спектрометрические методы, такие, как вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС) и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП).

¹⁷ Дополнительная информация размещена на сайте IAEA.org в документах, имеющих отношение к *Обзору ядерных технологий – 2007*.

Н.2.2. Радиоактивные индикаторы в поддержку безопасности морепродуктов

120. Морская аквакультура двустворчатых моллюсков (например, мидий, устриц и гребешков) – это расширяющаяся в глобальном масштабе и экономически растущая деятельность, которая, однако, постоянно связана с риском из-за чувствительности этих морепродуктов к биоаккумуляции токсичных металлов до уровней, превышающих нормы безопасности морепродуктов и значения, указанные в руководящих принципах для экспорта.

121. Использование методов радиоактивных индикаторов обеспечивает экономически эффективную диагностику стратегий управления, позволяющих смягчить последствия связанных с ними рисков. Применение радиоактивных индикаторов обеспечивает осуществление высокочувствительного отслеживания поглощения, локализации и уничтожения токсичных металлов как в организмах-мишенях (двустворчатых моллюсках, рыбе, креветках), так и во всех морских пищевых цепях. Например, теперь известно, что в тканях гребешков происходит биоконцентрация больших количеств токсичного металлического кадмия до уровней, которые часто превышают значения, указанные в рекомендованных на международном уровне руководящих принципах. Исследования, проведенные с использованием радиоактивного индикатора кадмий-109 с автордиографией, показали, что кадмий концентрируется почти исключительно в почках и пищеварительных железах (см. рисунок Н-2), которые обычно не используются в пищу и, следовательно, могут быть удалены до поступления в пищевую цепочку. Такие радиоиндикаторные исследования, таким образом, обеспечивают разработку для промышленности по добыче и переработке моллюсков и ракообразных практических мер по повышению качества морепродуктов на международных рынках.

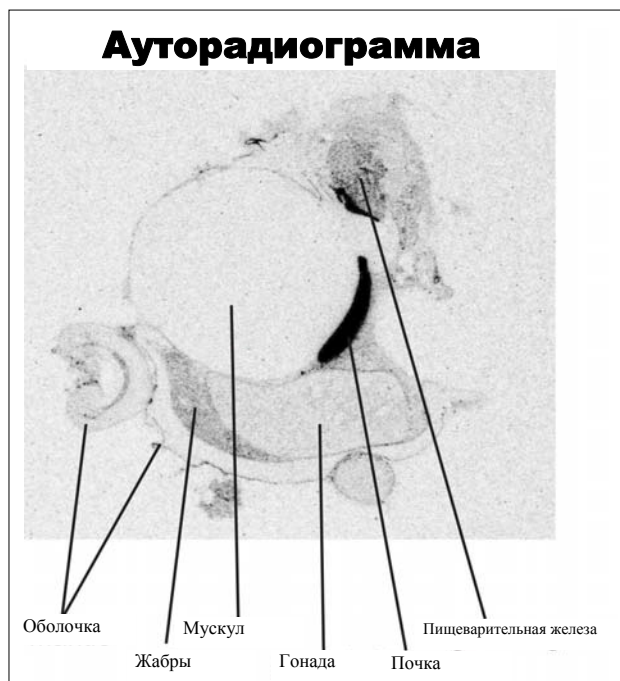


РИС. Н.-2. Черные участки – это концентрации радиоактивного индикатора кадмий-109 в морском гребешке (Предоставлен: C Rouleau IML Canada)

Н.3. Мониторинг загрязнения воздушной среды

122. Загрязнение воздушной среды, к которому приводят взвешенные твердые частицы, - это угроза здоровью человека, особенно в больших городах. Тонкие частицы загрязнения могут проникнуть глубоко в легкие и оставаться там в течение значительного отрезка времени. Эффективные режимы управления качеством воздуха предполагают наличие информации об источниках частиц, приводящих к загрязнению воздушной среды. Ядерные аналитические методы (рентгеновская флюоресценция, нейтронно-активационный анализ и методы ионных пучков) – это инструменты, которые могут использоваться для определения химического состава взвешенных в воздухе частиц. Когда состав известен, может быть идентифицирован конкретный источник или же могут быть оценены относительные доли разных типов источников загрязнения, например, путем определения величин загрязнения от транспортных средств, промышленных или трансграничных источников. На основе такой информации могут быть приняты решения в отношении мер, направленных на снижение выбросов, например, путем сокращения или запрещения использования этилированного бензина или улучшения городской транспортной инфраструктуры. Особый успех в осуществлении таких мер был достигнут в Юго-Восточной Азии. Ядерные аналитические методы могут аналогичным образом использоваться для измерения эффективности мер борьбы с загрязнением.



Рис. Н-3. Воздушный пробоотборник для забора большого объема, используемый при мониторинге загрязнения воздушной среды или содержания радона

Н.4. Радон в атмосфере

123. Радон – это природный радиоактивный газ, который непрерывно поступает в атмосферу из земной поверхности. Период полураспада радона-222 (3,82 дня) сопоставим с временем жизни многих атмосферных загрязнителей, таких, как двуокись серы, закись азота и озон. Поэтому измерения радона все шире используются в исследованиях атмосферных процессов, в частности для проверки моделей циркуляции атмосферы и процессов переноса.

124. Концентрации радона изменяются с направлением ветра, особенно в прибрежных зонах, поскольку поток радона, поступающего в атмосферу из океана, намного ниже, чем его поступление из грунта. Это означает, что радон может использоваться в качестве индикатора степени контакта воздушной массы с землей. Примером такого применения является включение измерений радона в программу Глобальной системы атмосферных наблюдений (ГАН) Всемирной метеорологической организации (ВМО). Задача ГАН сводится к

осуществлению надежных наблюдений за химическим составом и отдельными физическими характеристиками атмосферы в глобальном и региональных масштабах; обеспечению научного сообщества средствами прогнозирования будущих состояний атмосферы, а также организации оценок в поддержку формулирования экологической политики. Эти потребности в проведении атмосферных исследований в настоящее время обусловили усовершенствование систем обнаружения радона в нескольких районах.

Н.5. Эталонные материалы и качество аналитических измерений

125. Мониторинг окружающей среды во все большей степени требует проведения точных измерений и повторимых результатов, в частности, для поддержания уверенности в продовольственной безопасности и международной торговле. Лаборатории во всем мире укрепляют свои возможности в обеспечении инструментов для достижения сравнимости и качества результатов измерений по двум главным направлениям. Первое направление – это соответствующая измерительная инфраструктура, которая прежде всего включает национальные институты метрологии и предоставление необходимых калибровочных эталонов. Второе направление связано с обеспечением наличия инструментов обеспечения качества и контроля качества, что включает предоставление эталонных материалов. Они аналогичны общим типам проб и содержат известные количества веществ, которые анализируются на постоянной основе. Число типов материалов и анализируемых веществ при мониторинге окружающей среды и в экологических исследованиях является огромным, и спрос на соответствующие эталонные материалы со стороны лабораторий очень высок.

126. Ядерные технологии и эталонные материалы тесно связаны между собой. Во-первых, ядерные и связанные с ними аналитические методы (такие, как активация нейтронами) рассматриваются как референтные методы для характеристики новых эталонных материалов. Во-вторых, эталонные материалы применяются на постоянной основе для проверки качества результатов измерений, полученных с помощью ядерных аналитических методов. Потребности в высококачественных и метрологически надежных эталонных материалах, характеризованных применительно к радионуклидам, стабильным изотопам, микроэлементам, органическим загрязнителям и т.д., непрерывно возрастают (см. рисунок Н-4). В целях обеспечения надлежащей уверенности в результатах измерений международные органы, такие, как Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международное сотрудничество по прослеживаемости измерений в аналитической химии (СИТАС) уделяют более пристальное внимание производству эталонных материалов.

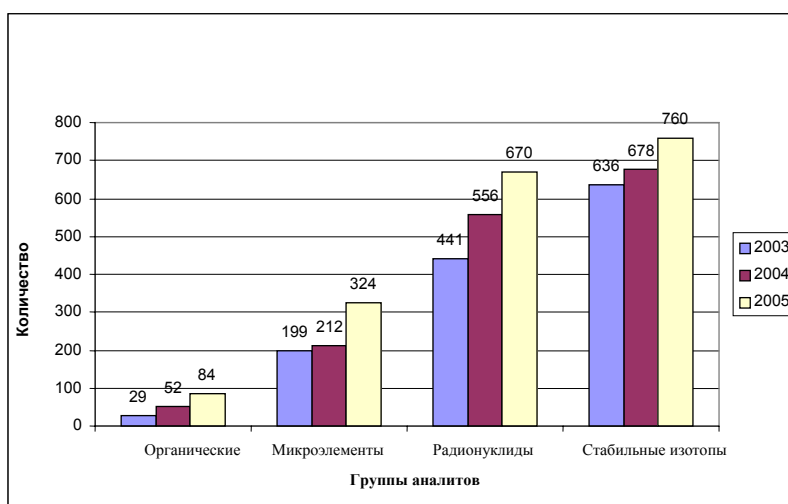


РИС. Н.-4. Количество эталонных материалов МАГАТЭ, распространенных в 2003, 2004 и 2005 годах.