

Пятидесятая очередная сессия

Пункт 17 предварительной повестки дня
(GC(50)/1)

Обзор ядерных технологий - 2006

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат представляет всеобъемлющий *Обзор ядерных технологий* каждые два года с краткими обновлениями в промежуточные годы. В настоящем докладе освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2005 году.
- В "*Обзоре ядерных технологий - 2006*" 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 продовольствии и сельском хозяйстве, здоровье человека и водные ресурсы, а также окружающая среда. Дополнительная документация, имеющая отношение к "*Обзору ядерных технологий - 2006*", помещена только на английском языке на сайте www.iaea.org по темам: ядерная энергетика в развивающихся странах, хранение и захоронение отработавшего топлива и радиоактивных отходов высокого уровня активности, технология стерильных насекомых - научные исследования и опытно-конструкторские работы, прогресс в области медицинской радиационной визуализации в целях диагностики и лечения рака, применение нейтронно-лучевой технологии и начальная стадия уранового топливного цикла.
- Информацию о деятельности Агентства, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти в *Ежегодном докладе за 2005 год* Агентства (GC(50)/4), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в *Докладе о техническом сотрудничестве за 2005 год* (GC(50)/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

Пятидесятая очередная сессия	1
A.1. Ядерная энергетика сегодня	4
A.2. Будущее развитие	7
A.2.1. Рост ожиданий	7
A.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата	9
A.2.3. Ключевые вопросы	10
A.2.4. Ресурсы	15
B.1. Усовершенствованные ядерные системы	17
B.2. Термоядерный синтез	19
D.1. Ускорители	20
D.2. Исследовательские реакторы	21
E.1. Применения радиоизотопов	22
E.2. Радиационная технология	22
E.2.1. Нанотехнология для промышленности и здравоохранения	22
E.2.2. Контроль промышленных процессов	23
F.1. Улучшение и защита сельскохозяйственных культур	24
F.2. Животноводство и ветеринария	25
F.3. Качество и безопасность пищевых продуктов	26
G.1. Исследования проблем питания и окружающей среды, связанных со здоровоохранением	27
G.2. Ядерная медицина для целей визуализации и терапии	27
G.3. Дозиметрия и медицинская радиационная физика	28
G.4. Радиофармпрепараты	28
G.5. Радиационная онкология	29
H.1. Водные ресурсы	29
H.1.1. Методы изотопной гидрологии	29
H.1.2. Опреснение	30
H.2. Окружающая среда	31
H.2.1. Разминирование	31
H.2.2. Радионуклидные индикаторы для построения совместной модели океанической циркуляции и климата	31
H.2.3. Бионакопление в морских пищевых цепочках	31
H.2.4. Исследование круговорота углерода с помощью компоненто-специфического изотопного анализа	32

Обзор ядерных технологий - 2006

Доклад Генерального директора

Основные итоги

1. Хотя нынешняя оценка перспектив ядерной энергетики остается двойственной, 2005 год был годом растущих ожиданий. В марте представители высокого уровня 74 правительств, включая 25 представителей на министерском уровне, собрались в Париже для проведения организованной Агентством конференции по рассмотрению будущей роли ядерной энергетики. Значительное большинство участников подтвердило, что ядерная энергетика может внести важный вклад в удовлетворение энергетических потребностей и обеспечение устойчивого мирового развития в XXI веке для большого числа как развитых, так и развивающихся стран. Повышению ожиданий способствуют высокие показатели работы ядерной энергетики, рост энергетических потребностей во всем мире в сочетании с повышением цен на нефть и природный газ; экологические проблемы, озабоченность в отношении безопасности энергоснабжения в ряде стран и амбициозные планы расширения в нескольких странах.

2. По состоянию на 31 декабря 2005 года в мире эксплуатировалось 441 АЭС и 27 АЭС находились в стадии строительства. В 2005 году к энергосети было подключено четыре новых АЭС (две в Японии и по одной в Индии и Республике Корея) и одна станция была выведена из стояночного режима и вновь подключена к сети в Канаде. Из эксплуатации были выведены две АЭС - обе в соответствии с национальной политикой свертывания выработки электроэнергии на АЭС - реактор АЭС "Обригхайм" в Германии и второй энергоблок АЭС "Барсебек" в Швеции. Было начато три новых строительства – третьего энергоблока АЭС "Линао" в Китае, третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" в Финляндии и второго энергоблока АЭС "Чашма" ("Chasnupp") в Пакистане. Третий энергоблок АЭС "Олкилуото" является первым новым строительством АЭС в Западной Европе с 1991 года. На конец 2005 года Азия остается центром роста ядерной энергетики - на нее приходится 16 из указанных 27 сооружаемых реакторов и 24 из последних 34 реакторов, подключенных к энергосети.

3. Цены на уран, низкие и стабильные в течение предыдущих полутора десятков лет, продолжали расти - с 25 долл./кг в 2002 году до 112 долл./кг в мае 2006 года. Уровень производства урана уже в течение приблизительно 15 лет значительно ниже уровня его потребления, и нынешний рост цен отражает растущее понимание того, что вторичные источники, которые покрывали разницу между ними, истощаются.

4. По состоянию на конец 2005 года восемь АЭС были полностью сняты с эксплуатации, а их площадки были переданы для использования без ограничений. Семнадцать АЭС были частично демонтированы и подвергнуты безопасной консервации, 31 станция демонтируется перед конечной передачей площадки в пользование и 30 - находятся в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией.

5. Наибольший прогресс в области создания установок по захоронению высокоактивных отходов достигнут в США, Финляндии и Швеции. В Финляндии в 2004 году началось сооружение подземной лаборатории в целях определения характеристик для установки окончательного захоронения в Олкилуото. В 2005 году Венгрия и Республика Корея выбрали площадки для своих первых хранилищ радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности после того, как отдельные общины дали свое согласие на референдумах, а в Бельгии две общины проголосовали за то, чтобы их площадки стали кандидатами для сооружения хранилищ отходов низкого уровня активности.

6. Национальные исследования, касающиеся усовершенствованных конструкций реакторов, продолжаются по всем типам реакторов - водоохлаждаемым, газоохлаждаемым, с жидкометаллическим теплоносителем и гибридным системам. Пять членов созданного по инициативе США Международного форума "Поколение IV" (МФП) в феврале 2005 года подписали рамочное соглашение о международном сотрудничестве в исследованиях и разработках по ядерно-энергетическим системам поколения IV. Число участников Международного проекта МАГАТЭ по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) выросло до 24 после того, как в 2005 году к ним добавились Соединенные Штаты Америки и Украина. Текущая деятельность в рамках ИНПРО включает завершение подготовки руководства пользователя по методологии ИНПРО, применение этой методологии к оценке инновационных ядерно-энергетических систем (ИЯЭС) в национальных и многонациональных исследованиях, анализ роли и структуры ИЯЭС в устойчивом удовлетворении потребностей в энергии и выбор наиболее подходящих тем для совместных разработок.

7. В июне 2005 года был достигнут значительный прогресс в области термоядерного синтеза в связи с подписанием совместной декларации всех сторон на переговорах относительно Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) и с соглашением о начале строительства в Кадараше, Франция. Это решение свидетельствует о новом важном этапе в развитии управляемого термоядерного синтеза - научной и технической демонстрации технологии термоядерного синтеза в условиях, имеющих отношение к эксплуатации реактора термоядерного синтеза для производства энергии.

8. Как в энергетике, так и во всех других областях применения ядерной энергии прогресс и усовершенствования основываются на постоянном проведении фундаментальных научных исследований в ядерной области. Реализация термоядерного синтеза в качестве жизнеспособного источника энергии требует научных исследований во многих областях, наряду с наличием надежных атомных и ядерных данных. Исследовательские реакторы находят практические применения для поддержки большинства областей ядерной технологии, и в настоящем обзоре сообщается о применении новых исследовательских реакторов, например, в производстве изотопов, об использовании нейтронных пучков и применении активационного анализа в таких областях, как экология, продовольствие и сельское хозяйство.

9. Сообщается также о прогрессе, касающемся методов на основе ускорителей, производства радиоизотопов и новейшего применения нанотехнологии.

10. Ядерные технологии продолжают играть ключевую и часто уникальную роль в производстве пищевых продуктов и обеспечении их безопасности, в здравоохранении и ветеринарии, в управлении водными ресурсами и в защите окружающей среды. Например, селекция сельскохозяйственных культур с помощью метода индуцированных мутаций привела к использованию ранее непригодных земель во многих странах для производства риса. В области здоровья человека применение стабильных изотопов становится признанным инструментом для разработки программ питания. Ядерная медицина получает пользу от

технологического прогресса в компьютерной области. Устойчивое управление водными ресурсами и опреснение остаются одним из наиболее актуальных вопросов международной повестки дня. Новые достижения в области изотопного анализа гидрологических проб создают перспективы для более широкого применения изотопов в управлении водными ресурсами. Прогресс в методах отбора проб и анализа способствует более глубокому пониманию процессов в окружающей среде. Сообщается также о достижениях во всех указанных областях.

А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

А.1. Ядерная энергетика сегодня¹

11. В конце 2005 года во всем мире эксплуатировалась 441 атомная электростанция (АЭС) с общей установленной мощностью в 368 ГВт (эл.), на которые приходилось 16% мирового производства электроэнергии. Эта доля остается в целом неизменной с 1986 года, указывая на то, что в течение 19 лет ядерная энергетика росла теми же темпами, что и вся глобальная энергетика.

12. В 2005 году к энергосети было подключено четыре новых АЭС (две в Японии и по одной в Индии и Республике Корея) и одна станция была выведена из стояночного режима и вновь подключена к сети в Канаде. Для сравнения в 2004 году было произведено пять новых подключений к энергосети (и одно повторное подключение), а в 2003 году - два новых и два повторных подключения. В 2005 году с эксплуатации были сняты две АЭС, по сравнению с пятью станциями, снятыми с эксплуатации в 2004 году, и шестью - в 2003 году. Чистое увеличение глобальной ядерной установленной мощности в течение 2005 года составило 3 259 МВт (эл.).

13. Если использовать определение Агентства, в соответствии с которым строительство начинается с первой заливки бетона, то в 2005 году было начато сооружение трех АЭС: третьего энергоблока АЭС "Линао" в Китае (1000 МВт (эл.)), третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" (1600 МВт (эл.)) в Финляндии и второго энергоблока АЭС "Чашма" ("Chasnupp") (300 МВт (эл.)) в Пакистане. Кроме того, возобновились активные работы по сооружению двух АЭС в Болгарии, которые ранее классифицировались как "сооружение приостановлено". В 2004 году было начато строительство двух объектов плюс возобновлено активное сооружение двух АЭС в Российской Федерации. В 2003 году было начато одно строительство.

14. Расширение мощностей в настоящее время, а также ближайшие и долгосрочные перспективы роста характерны главным образом для Азии. Как показано в таблице А-1, на конец 2005 года во всем мире сооружалось 27 реакторов, причем 16 из них - в Азии. Из введенных в последнее время в эксплуатацию 34 реакторов 24 были подключены к энергосетям в Азии.

15. Самая крупная в Азии ядерно-энергетическая программа - у Японии. После подключения первого энергоблока АЭС "Хигаси Дори" к энергосети в марте и второго энергоблока АЭС "Сика" в июле в Японии в настоящее время в эксплуатации находится 55 реакторов и один реактор - в стадии строительства. Кроме того, в июле компания "Токио электрик пауэр компани" (ТЕРСО) возобновила эксплуатацию последнего из 17 реакторов, остановленных в 2002 году. В целом Япония к 2014 году планирует дополнительно подключить к энергосети десять новых энергоблоков, в результате чего доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии в Японии превысит 40%.

¹ МАГАТЭ располагает данными по эксплуатируемым и остановленным реакторам, а также реакторам в стадии строительства, как описано в последнем выпуске Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/nuclear_power.pdf) и представлено на веб-сайте МАГАТЭ <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPES/index.html>. См., в частности, Информационную систему по энергетическим реакторам (<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>).

Таблица А-1. Ядерные энергетические реакторы в эксплуатации и в стадии строительства в мире (по состоянию на 31 декабря 2005 года)^а

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии сооружения		Электроэнергия АЭС, поставленная в 2005 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2005 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	6,4	6,9	54	7
АРМЕНИЯ	1	376			2,5	42,7	38	3
БЕЛЬГИЯ	7	5 824			45,3	55,6	205	7
БОЛГАРИЯ	4	2 722	2	1 906	17,3	44,1	137	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 901			9,9	2,4	29	3
ВЕНГРИЯ	4	1 755			13,0	37,2	82	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 339			154,6	31,0	683	5
ИНДИЯ	15	3 040	8	3 602	15,7	2,8	252	0
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА			1	915				
ИСПАНИЯ	9	7 588			54,7	19,6	237	2
КАНАДА	18	12 599			86,8	14,6	442	8
КИТАЙ	9	6 572	3	3 000	50,3	2,0	56	11
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	20	16 810			139,3	44,7	259	8
ЛИТВА	1	1 185			10,3	69,6	39	6
МЕКСИКА	2	1 310			10,8	5,0	27	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	449			3,8	3,9	61	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	2,4	2,8	39	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	4	3 775	137,3	15,8	870	4
РУМЫНИЯ	1	655	1	655	5,1	8,6	9	6
СЛОВАКИЯ	6	2 442			16,3	56,1	112	6
СЛОВЕНИЯ	1	656			5,6	42,4	24	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	23	11 852			75,2	19,9	1 377	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	103	98 145			780,5	19,3	3 087	6
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	83,3	48,5	308	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 676	1	1 600	22,3	32,9	107	4
ФРАНЦИЯ	59	63 363			430,9	78,5	1 464	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 368			23,3	30,5	86	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			22,1	32,1	153	10
ШВЕЦИЯ	10	8 910			69,5	44,9	332	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			12,2	5,5	42	3
ЯПОНИЯ	55	47 593	1	866	280,7	29,3	1 221	3
Всего ^б	441	368 264	27	21 811	2625,9	16%	11 991	8

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 - 4904 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока - 2600 МВт (эл.) в стадии строительства;

— 38,4 ТВт·ч выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 20,3% суммарной электроэнергии, произведенной в 2005 году;

— 146 лет и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации.

16. После подключения в январе шестого энергоблока АЭС "Ульчин" к энергосети в эксплуатации в Республике Корея находится 20 энергоблоков. В 2005 году началась подготовка площадок для пятого и шестого энергоблоков АЭС "Кори". Ядерная энергетика обеспечивает 45% электроэнергии страны.

17. В других странах Азии абсолютный и относительный вклад ядерной энергетике меньше, но, в частности, Китай и Индия планируют его существенное увеличение. Китай, где имеется девять действующих реакторов, три находятся в процессе сооружения и на долю ядерной энергетике приходится 2,2% производства электроэнергии, планирует к 2020 году увеличить мощность АЭС до 40 ГВт (эл.), причем доля ядерной энергетике составит 4% от общего производства электроэнергии.

18. Индия в июне подключила к энергосети четвертый энергоблок АЭС "Тарапур" - корпусной тяжеловодный реактор мощностью 490 МВт (эл.). В стране в настоящее время 15 реакторов находится в эксплуатации и еще восемь - в процессе строительства. В 2004 году ядерная энергетика обеспечивала 2,8% снабжения электроэнергией. Цель Индии - к 2022 году увеличить установленную мощность АЭС в десять раз и к 2052 году - в 90 раз.

19. Пакистан получает 2,8% своей электроэнергии от двух находящихся в эксплуатации ядерных реакторов. В 2005 году началось строительство второго энергоблока АЭС "Чашма" ("Chasnupp") мощностью 300 МВт (эл.) с корпусным водо-водяным реактором. Планы предусматривают введение в эксплуатацию к 2030 году еще 8 000 МВт (эл.) установленной мощности АЭС, в результате чего доля ядерной энергетике в производстве электроэнергии возрастет до 4,2 %.

20. Исламская Республика Иран, которая сооружает атомную электростанцию, подписала в 2005 году соглашения о поставке топлива, которые предусматривают возврат отработавшего топлива в Российскую Федерацию.

21. В Западной Европе эксплуатируется 135 энергоблоков АЭС, и в настоящее время еще один – третий энергоблок АЭС "Олкилуото" - с августа 2005 года сооружается в Финляндии. В соответствии с политикой Германии и Швеции, предусматривающей постепенное свертывание ядерных мощностей, две АЭС были выведены из эксплуатации: "Обригхайм" в Германии и "Барсебек-2" в Швеции. Правительства одобрили продление срока службы АЭС "Борсселе" до 2033 года – т. е. до 60 лет, в Нидерландах и продление на десять лет сроков эксплуатации АЭС "Дагнесс-В1" и "Дагнесс-В2" в Соединенном Королевстве. Правительство Швеции одобрило повышение мощности на 15 МВт (эл.) первого и третьего энергоблоков АЭС «Рингхальс», и аналогичный запрос о повышении мощности на 250 МВт (эл.) третьего энергоблока АЭС "Оскарсхамн" был поддержан регулирующими органами и ожидает одобрения правительством. Кроме того, поступили запросы на повышение мощности на 120 МВт (эл.) как первого, так и второго энергоблоков АЭС "Форсмарк" и на 170 МВт (эл.) ее третьего энергоблока.

22. В России эксплуатируется 31 энергоблок АЭС и еще четыре находятся в стадии строительства, а в Восточной Европе эксплуатируется 39 энергоблоков АЭС и пять находятся в стадии сооружения. В начале 2005 года второй энергоблок Билибинской АЭС в России получил лицензию на пятилетнее продление срока эксплуатации, в дополнение к аналогичному продлению в отношении первого энергоблока Билибинской АЭС в предыдущем году. Оба реактора являются небольшими энергоблоками мощностью по 11 МВт (эл.), обеспечивающими централизованное тепло- и электроснабжение в отдаленном северо-восточном районе – Чукотском автономном округе.

23. В Соединенных Штатах Америки Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) одобрила возобновление еще девяти лицензий, каждой - на 20 лет, (доведя разрешенный лицензией срок эксплуатации каждой АЭС до 60 лет), в результате чего общее количество одобренных возобновлений лицензий в конце 2005 года достигло 39. Было введено в действие новое законодательство в области энергетики, предусматривающее покрытие правительством затрат, связанных с некоторыми потенциальными задержками с выдачей лицензии, и отсрочку уплаты производственного налога на современные ядерно-энергетические мощности в пределах до 6 000 МВт (эл.). КЯР рассматривает три заявления о выдаче первоначальных разрешений на площадки, и она ожидает получения к концу 2007 года четырех заявлений о выдаче комбинированных лицензий на строительство и эксплуатацию и, возможно, еще нескольких запросов в 2008 году.

24. В Канаде АЭС "Пикеринг А-1" стала четвертым энергоблоком, который будет повторно подключен к энергосети из числа тех восьми, которые были остановлены в последние годы. Было также достигнуто соглашение о четырехлетней программе повторного пуска пятого и шестого энергоблоков на АЭС "Брюс А-1" и "Брюс А-2".

А.2. Будущее развитие

А.2.1. Рост ожиданий²

25. 2005 год характеризовался ростом ожиданий в отношении ядерной энергетики. В марте представители высокого уровня 74 правительств, включая 25 представителей на министерском уровне, собрались в Париже для проведения организованной Агентством конференции по рассмотрению роли ядерной энергетики в будущем. Значительное большинство участников подтвердило, что ядерная энергетика может внести важный вклад в удовлетворение энергетических потребностей и обеспечение устойчивого мирового развития в XXI веке в отношении большого числа как развитых, так и развивающихся стран. Среди них был ряд стран, в настоящее время не имеющих ядерно-энергетической программы, таких, как Вьетнам, Египет, Индонезия, Марокко, Польша и Турция. Среди важных задач, стоящих перед странами, приступающими к осуществлению ядерно-энергетической программы, - создание необходимой вспомогательной инфраструктуры, включая юридическую и регулируемую инфраструктуры³.

26. Повышению ожиданий способствуют: позитивная в прошлом и настоящем история существования ядерной энергетики, неуклонный рост глобальных энергетических потребностей, новые ограничения, вызываемые экологическим фактором, озабоченность в некоторых странах относительно безопасности энергоснабжения и конкретные планы расширения ядерной энергетики в таких странах, как Индия, Китай, Республика Корея, Российская Федерация и Япония.

27. Позитивная в прошлом и настоящем история существования ядерной энергетики подтверждается опытом эксплуатации, который, согласно таблице А-1, составил 11 991 реакторо-лет; повышением коэффициентов использования мощности, снижением производственных затрат и прекрасными показателями безопасности. Произошла одна авария

² Более подробная информация о последних прогнозах Агентства имеется на сайте <http://nesisda2/rds-1/>. Недавно проведенная и текущая работа Агентства по сбору данных и экспертным оценкам для среднесрочных прогнозов описана в последнем выпуске Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/capacity_building.pdf) и на его веб-сайте <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/>.

³ Дополнительная документация имеется на сайте IAEA.org в разделе "Nuclear Technology Review 2006".

с серьезными последствиями за пределами площадки - на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Эта авария унесла жизни людей и причинила многие страдания. Но при этом она также привнесла глубокие изменения, включая создание основ постоянно совершенствуемой "культуры безопасности", подробный анализ опыта и обмен образцовой практикой. Такая культура безопасности демонстрирует свою эффективность в течение уже почти двух десятилетий, и эти показатели безопасности обеспечивают основу для стран, рассматривающих вопрос о сооружении АЭС.

28. Все независимые анализы и прогнозы предсказывают неуклонный рост глобальных энергетических потребностей в текущем столетии. Если мир намерен удовлетворить хотя бы долю надежд развивающегося мира в экономической области, то энергоснабжение должно значительно возрасти. Цены на нефть и на природный газ в 2005 году существенно повысились, отражая рыночные ожидания того, что спрос будет расти быстрее, чем предложение.

29. На рис. А-1 ретроспективно показан рост установленной мощности АЭС во всем мире начиная с 1960 года плюс высокие и низкие прогнозы Агентства, обновленные в 2005 году. Разница между низким и высоким прогнозами на 2030 год составляет 222 ГВт (эл.). Как показано на этом рисунке, 66 ГВт (эл.) этой разницы, или 30%, приходится на Западную Европу, и 52 ГВт (эл.) или 23% - на Дальний Восток.

30. Хотя ожидания в отношении ядерной энергетики повышаются, недавний глобальный опрос общественного мнения, проведенный по просьбе Агентства, показывает сохраняющееся разнообразие мнений. Опросом были охвачены 18 000 человек в 18 странах. Результаты по отдельным странам существенно отличаются друг от друга. Обобщенные результаты показаны на рис. А-2. Большинство, составляющее 62%, выступает за продолжение эксплуатации существующих станций, но при этом большинство в 59% не желает строительства новых станций. Был задан также последующий вопрос, который включал краткую информацию о весьма низком выбросе атомными станциями парниковых газов, после которой процент высказавшихся в пользу расширения ядерной энергетики возрос с 28% до 38%, а процент выступающих против ее расширения снизился с 59% до 47%.

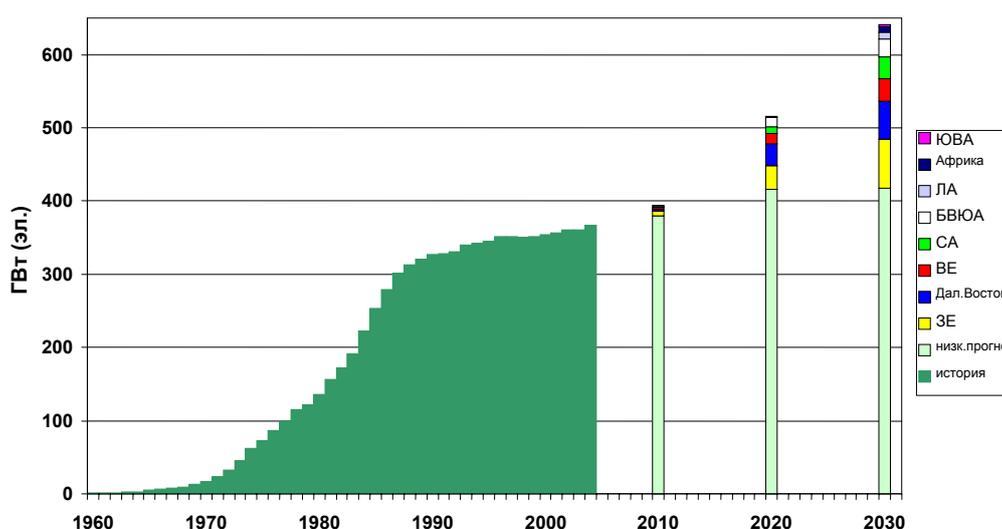


Рисунок А-1: Установленные ядерно-энергетические мощности во всем мире. Темно-зеленые столбцы показывают рост с 1960 по 2005 год включительно. Светло-зелеными столбцами показаны последние прогнозы Агентства на 2010, 2020 и 2030 годы. Другими цветами показано различие между низким и высоким прогнозами Агентства, относящимися к различным регионам мира. (ЮВА = Юго-Восточная Азия; ЛА = Латинская Америка; БВЮА = Ближний Восток и Южная Азия; СА = Северная Америка; ВЕ = Восточная Европа; ЗЕ = Западная Европа).



Рисунок А-2: Обобщенные результаты глобального опроса общественного мнения. Источник: *Глобальное общественное мнение по ядерным вопросам и МАГАТЭ: Заключительный доклад по 18 странам, 2005 год.*

А.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата⁴

31. Комиссия ООН по устойчивому развитию (КУР) впервые подняла тему энергии на своей девятой сессии в 2001 году и подробно обсудила взаимосвязь ядерной энергии и устойчивого развития. Результаты обсуждения носили двойственный характер. Сначала стороны решили не соглашаться с заключительным текстом, в котором отмечалось, что одни страны рассматривают ядерную энергию в качестве важного источника устойчивого развития, а другие - нет. Во-вторых, стороны согласились с тем, что "выбор ядерной энергии остается за странами". Ядерная энергетика затем станет частью повестки дня, когда КУР снова поднимет вопросы энергии в 2006 и 2007 годах.

32. Киотский протокол, вступивший 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 энергетiku все более привлекательной. В прошлом ее преимущество, заключающееся в весьма низких выбросах ПГ, инвесторами не замечалось, поскольку отсутствие ограничений или налогов на выбросы ПГ означало, что их предотвращение не имело никакой экономической ценности.

33. 11-ая Конференция сторон Конвенции ООН об изменении климата (КС-11), проходившая в Монреале в декабре 2005 года, была первой Конференцией после вступления в силу Киотского протокола и таким образом стала первым Совещанием сторон Киотского протокола (СС-1). В этом качестве оно официально приняло правила применения Киотского протокола, которые были ранее приняты на КС-7 в качестве Марракешского соглашения. Относительно сокращения выбросов после первого периода обязательств (2008-2012 годы) оно решило начать обсуждения в "специальной рабочей группе открытого состава, ... цель которой ... состоит в выполнении ее работы... как можно скорее и в такие сроки, чтобы обеспечить отсутствие разрыва между первым и вторым периодами обязательств". В указанных обсуждениях важной проблемой для ядерной энергетики будет судьба существующего в течение первого периода обязательств исключения ядерно-энергетических проектов из двух (из общего числа трех) гибких механизмов, предусмотренных в Киотском протоколе, в частности механизмов чистого развития и совместного осуществления.

⁴ Более детальная информация о деятельности Агентства по связанным с энергетикой аспектам устойчивого развития и изменения климата имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/capacity_building.pdf) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml>.

А.2.3. Ключевые вопросы

Экономика

34. Структура затрат, связанных с атомными электростанциями, характеризуется высокой стоимостью этих станций на начальном этапе, то есть при сравнительно дорогом строительстве они относительно недороги в эксплуатации. Таким образом, существующие эффективно эксплуатируемые АЭС продолжают оставаться в целом конкурентоспособным выгодным источником электроэнергии, но что касается нового строительства, то экономическая конкурентоспособность ядерной энергетики зависит от нескольких факторов. Во-первых, она зависит от имеющихся альтернатив. Одни страны обладают большими запасами альтернативных ресурсов, а другие – нет. Во-вторых, она зависит от общего спроса на электроэнергию в стране и от темпов его роста. В-третьих, она зависит от рыночной структуры и инвестиционной среды. При прочих равных условиях структура затрат в ядерной энергетике, характеризующаяся высокой стоимостью на начальном этапе, менее привлекательна для частного инвестора на либерализованном рынке, для которого важным является быстрый оборот средств, чем для правительства, которое может рассчитывать на более долгосрочную перспективу, в частности, на регулируемом рынке, который обеспечивает привлекательный доход. Частные инвестиции на либерализованных рынках будут также зависеть от того, в какой степени связанные с энергией внешние затраты и выгоды (например, загрязнение, выбросы ПГ, отходы и безопасность энергоснабжения) были интернализированы. Напротив, правительственные инвесторы могут непосредственно учитывать такие внешние эффекты в своих решениях. Кроме того, важную роль играют риски, связанные с регулированием. Политическая поддержка, оказываемая ядерной энергетике, зависит от страны, и в данной конкретной стране она может со временем измениться. Инвестор должен взвесить риск политических изменений, которые могут потребовать отмены проекта в процессе его осуществления или стать причиной задержек и затрат, которые могут свести на нет первоначальную привлекательность инвестиций. Для разных стран также характерны различные процессы одобрения. Некоторые из них менее предсказуемы, чем другие, и с точки зрения инвестора связаны с большими рисками вмешательства или задержек, приводящих к значительным потерям.

35. На рисунке А-3 обобщены сметы расходов, связанные с новым строительством, на основании семи недавно проведенных исследований⁵. За исключением прогноза в отношении производства электроэнергии, основанного на сжигании жидких нефтепродуктов, (оценка приводится только в одном исследовании) высокий прогноз в каждом диапазоне стоимостей как минимум на 100% превышает низкий прогноз. Это происходит отчасти по причине различных технологических допущений в разных исследованиях, а также вследствие вышеупомянутых факторов. Кроме того, диапазоны стоимостей на рис. А-3 включают только интернализированные расходы. Если, например, достаточно высокий приоритет предоставляется повышению национальной самообеспеченности энергией, то предпочтительным выбором в какой-либо конкретной ситуации может и не быть наименее дорогостоящий вариант.

⁵ Массачусетский технологический институт *The Future of Nuclear Power*, Кембридж, штат Массачусетс, США (2003 год); Чикагский университет *The Economic Future of Nuclear Power*, Чикаго, штат Иллинойс, США (2004 год); Королевская инженерная академия, *The Cost of Generating Electricity*, Лондон, Соединенное Королевство (2004 год); Генеральный директорат по энергетике и сырьевым материалам (ГДЭСМ), Министерство экономики, финансов и промышленности Франции, Париж, Франция (2003 год); Министерство экономики, торговли и промышленности, Токио, Япония (2004 год); Matt Ayres, Morgan MacRae and Melanie Stogran, *Levelised Unit Electricity Cost Comparison of Alternate Technologies for Baseload Generation in Ontario*, Канадский энергетический исследовательский институт (КЭИИ), Калгари, Алберта, Канада (2004 год); Агентство по ядерной энергии и Международное энергетическое агентство, *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, Организация экономического сотрудничества и развития, Париж, 2005 год.

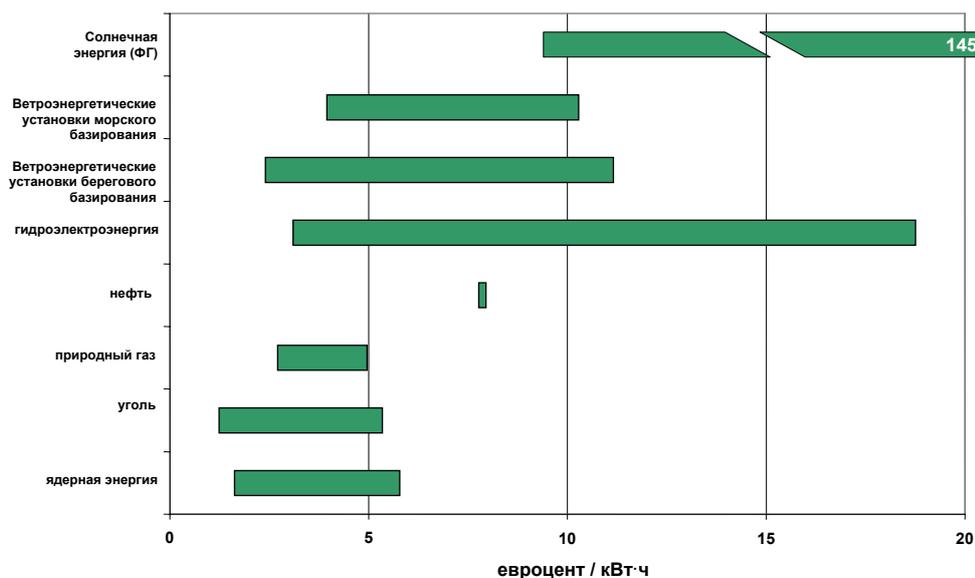


Рисунок А-3. Диапазоны приведенных по уровням затрат, связанных с новым строительством, согласно оценке, данной в семи недавно проведенных исследованиях, посвященных технологиям производства электроэнергии в разных странах. (ФГ - фотогальванический)

Безопасность⁶

36. Международный обмен эксплуатационным опытом АЭС и, в частности, широкое распространение "извлеченных уроков", являются важными составляющими процесса поддержания и укрепления безопасной эксплуатации АЭС. Сбор сведений об эксплуатационном опыте, обмен им и его анализ - все это является жизненно важными элементами управления безопасностью, и эмпирическим путем недвусмысленно доказано, что изучение эксплуатационного опыта АЭС вело и продолжает вести к повышению безопасности станций. Международные механизмы содействия обмену включают Всемирную ассоциацию организаций, эксплуатирующих АЭС, (ВАО АЭС) и МАГАТЭ. Одной из составляющих этого глобального процесса обмена являются регулярные совещания в рамках Совместной информационной системы по инцидентам МАГАТЭ/АЯЭ, на которых обсуждаются и подробно анализируются недавние инциденты.

37. Показатели безопасности, подобные тем, которые были опубликованы Всемирной ассоциацией организаций, эксплуатирующих АЭС, и воспроизведены на рис. А-4 и А-5, в 1990-х годах значительно улучшились. Однако в некоторых областях в последние годы процесс улучшения затормозился, как в случае незапланированных быстрых остановов, показанных на рис. А-4. Кроме того, разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, вследствие чего имеются значительные возможности для их улучшения. Со времени аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году были предприняты огромные усилия с целью модернизации реакторных средств безопасности, однако все еще имеются установки, на которых оказание помощи в области ядерной безопасности должно стать приоритетной задачей.

⁶ Более детальная информация о деятельности Агентства, касающейся ядерной безопасности, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005//safety_nuclear.pdf) и на веб-сайте Агентства <http://www-ns.iaea.org/>.

38. Более детальная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности* Агентства (GC(50)/INF/2).

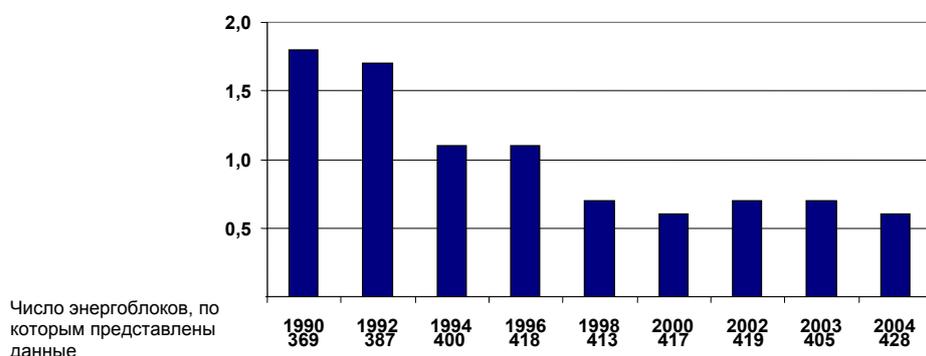


Рисунок А-4. Незапланированные срочные остановки за каждые 7 000 часов в критическом режиме. Источник: ВАО АЭС 2004 год. *Оценочные показатели*

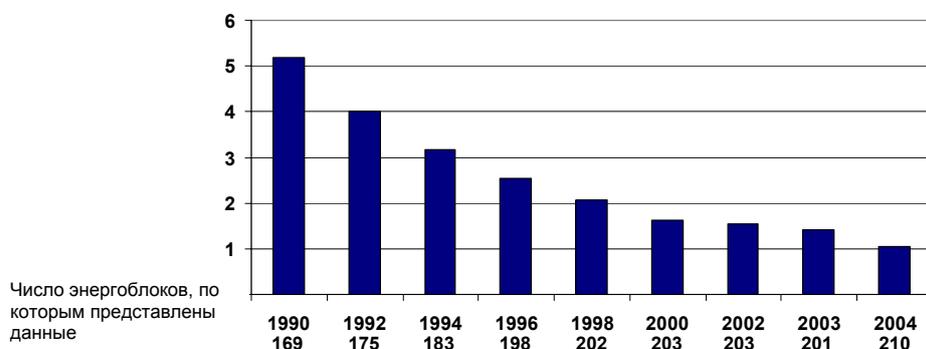


Рисунок А-5. Промышленные аварии на АЭС на 1 000 000 человеко-часов работы. Источник: ВАО АЭС 2004 год. *Оценочные показатели*

Отработавшее топливо, переработка, отходы и снятие с эксплуатации⁷

39. На находящихся в эксплуатации в настоящее время во всем мире 441 АЭС вырабатывается более 10 000 тонн эквивалента тяжелого металла (тТМ) отработавшего топлива в год. Менее трети его перерабатывается в целях рециклирования в качестве смешанного оксидного топлива (МОХ). Остальная часть помещается в установки для промежуточного хранения. Приблизительно 190 000 тТМ в настоящее время находятся на хранении. Большая часть отработавшего топлива хранится в воде, однако все возрастающие его количества передаются на сухое хранение, которое стало более предпочтительным методом нового вида внеакторного промежуточного хранения. Сухое хранилище имеет то преимущество, что может быть модульным - поэтому капиталовложения распределены во времени - и что в более отдаленной перспективе более простые пассивные системы охлаждения, используемые в сухом хранилище, уменьшают требования и затраты, связанные с эксплуатацией и техническим обслуживанием.

⁷Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе "Nuclear Technology Review 2006". Более детальная информация о деятельности Агентства, касающейся снятия с эксплуатации, отработавшего топлива и отходов, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/nuclear_fuel_cycle.pdf и http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/radioactive_waste.pdf) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html> и <http://www-ns.iaea.org/home/rtws.asp>.

40. Существующий глобальный потенциал переработки гражданского отработавшего топлива составляет около 5 000 тонн тяжелого металла в год (тТМ/год). Новая установка, сооружаемая в Роккашомуре, Япония, увеличит этот показатель на 800 тТМ/год. Ввод в эксплуатацию на уране в Роккашомуре начался в 2004 году, активный ввод в эксплуатацию с фактическим отработавшим топливом намечен на 2006 год и коммерческая эксплуатация запланирована на 2007 год. Нынешние глобальные мощности для изготовления МОХ-топлива составляют приблизительно 200 тТМ/год, и к 2010 году ожидается их рост до приблизительно 350 тТМ/год.

41. Проводимые в настоящее время научные исследования с целью совершенствования процесса PUREX, используемого на всех находящихся в эксплуатации коммерческих заводах по переработке топлива (в том числе и в Роккашомуре), охватывают усовершенствованные процессы PUREX, другие водные процессы и несколько неводных процессов.

42. Наиболее эффективным способом применения переработанного топлива является его использование в быстрых реакторах. Быстрые реакторы были построены и эксплуатируются в Германии, Индии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, США, Франции и Японии. Однако первоначальные экономические стимулы, касающиеся переработки и рециклирования, снизились в период после 1970-х годов, частично из-за замедления в росте установленной мощности АЭС, частично в связи с постоянным повышением оценки запасов урана и частично из-за вторичных источников. Только один быстрый реактор, БН-600 в Российской Федерации, эксплуатируется в настоящее время в качестве энергетического реактора, и в нем используется не переработанное топливо, а свежее высокообогащенное урановое (ВОУ) топливо. Однако в 2004 году Индия приступила к сооружению прототипа быстрого реактора-размножителя мощностью 500 МВт (эл.) в Калпаккаме, и в ряде стран проводятся исследования в этой области (см. раздел В.1).

43. США, Финляндия и Швеция дальше всех других стран продвинулись в разработке хранилищ для окончательного захоронения высокоактивных отходов, хотя ни одно из них не предполагается ввести в эксплуатацию значительно раньше 2020 года. И Финляндия, и США выбрали по одной площадке, на которых они проводят необходимые научные исследования. Подача в КЯР заявки на получение лицензии для хранилища в "Юкка Маунтин", США, была намечена на 2004 год, но была отсрочена. Швеция проводит научные исследования на двух возможных площадках.

44. В ноябре 2005 года после трехлетнего общенационального консультативного процесса Организация по обращению с ядерными отходами (ООЯО) Канады рекомендовала 'адаптивный поэтапный' подход к обращению с отработавшим топливом в Канаде. В течение последующих 30 лет отработавшее топливо будет по-прежнему храниться на реакторных площадках, при этом будет подыскиваться подходящая площадка для глубинного геологического хранилища, и будет принято решение относительно того, следует ли также сооружать централизованное промежуточное подземное хранилище неглубокого залегания, с тем чтобы приступить к приемке отработавшего топлива приблизительно через 30 лет. С централизованным промежуточным хранилищем или без такового глубинное хранилище могло бы начать принимать отработавшее топливо приблизительно через 60 лет.

45. Во Франции был достигнут заметный прогресс в проведении в подземной научно-исследовательской лаборатории в Буре исследований по захоронению в глине. Французский закон 1991 года о научных исследованиях и опытно-конструкторских разработках в области ядерных отходов конкретно предусматривает принятие через 15 лет нового парламентского решения, и в порядке подготовки к такому решению в 2006 году в 2005 году официально начались публичные дискуссии. Они основываются на проводимых с 1991 года изучениях трех главных подходов - разделения и трансмутации, геологического захоронения, а

также кондиционирования и долгосрочного промежуточного хранения - и ожидается, что новое законодательство разъяснит, какие ближайшие и среднесрочные меры будут приняты с целью продвижения по всем трем направлениям.

46. Что касается захоронения радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности, то связанные с ним примечательные события произошли в 2005 году в Бельгии, Венгрии и Республике Корея. В Бельгии как минимум две общины проголосовали за то, чтобы предоставить свои площадки в качестве кандидатов для создания хранилищ для образующихся в этой стране низкоактивных отходов (НАО). В Венгрии значительное большинство жителей Батапати проголосовало за создание у себя окончательного хранилища для НАО и отходов промежуточного уровня (ОПУ). И в Республике Корея в качестве площадки для первого хранилища НАО и ОПУ (при условии успешной геологической оценки площадки) был выбран Кёнджу после того, как за это проголосовали почти 90% его жителей, по сравнению с 67-84% в трех других общинах-кандидатах.

47. В 2005 году в США было завершено снятие с эксплуатации АЭС "Троян" и "Мэн Янки". За исключением отдельных хранилищ отработавшего топлива на обеих площадках было разрешено неограниченное использование этих площадок. По состоянию на конец 2005 года восемь АЭС во всем мире были полностью сняты с эксплуатации, а их площадки были переданы для использования без ограничений. Семнадцать станций были частично демонтированы и подвергнуты безопасной консервации, 31 АЭС демонтируется перед конечной передачей площадки в пользование, и 30 - находятся в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией.

Устойчивость с точки зрения нераспространения⁸

48. В последние несколько лет возросла озабоченность проблемами нераспространения. Устойчивость с точки зрения нераспространения является характеристикой ядерно-энергетической системы, которая препятствует переключению или незаявленному производству ядерного материала или использованию технологии не по назначению. В рамках Международного форума "Поколение-IV" (МФП) и Международного проекта по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) Агентства повышенное внимание уделяется проблеме внутренне присущих особенностей с точки зрения нераспространения, то есть таким свойствам, которые заложены в технической конструкции систем ядерной энергии. Указанные свойства обобщены в разделе В.1, посвященном усовершенствованным ядерным системам.

49. В январе 2006 года президент России Владимир Путин выдвинул предложение о создании системы международных центров, предоставляющих услуги в области ядерного топливного цикла, включая обогащение, на недискриминационной основе и под контролем Агентства. В феврале 2006 года США выступили с инициативой "Глобального партнерства в области ядерной энергии", цель которого - развитие передовых технологий рециклирования, которые не будут выделять 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, вполне отвечающих потребностям развивающихся стран.

⁸ Более детальная информация о деятельности Агентства, касающаяся устойчивости с точки зрения нераспространения и гарантий, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/safeguards.pdf>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html>.

A.2.4. Ресурсы⁹

50. Установленные традиционные запасы урана в настоящее время оцениваются в: 3,8 млн. тонн (Мт U) в отношении ресурсов, которые могут быть извлечены при затратах ниже 80 долл./кг, и 4,7 Мт U при затратах ниже 130 долл./кг. Для справки, рыночная спот-цена на уран в конце мая 2006 года составляла около 112 долл./кг. Для этих двух категорий указанные оценки за последние два года возросли благодаря как новым открытиям, так и перераспределению некоторых ресурсов из более высокой категории стоимости в более низкую.

51. Неоткрытые традиционные ресурсы добавляют к оценке еще 7,1 Мт U при затратах ниже 130 долл./кг. Сюда входят как ресурсы, которые, как ожидается, будут обнаружены или в известных месторождениях, или около них, так и более проблематичные запасы, которые, как полагают, существуют на геологически благоприятных, хотя и не разведанных территориях. Имеются также оценки, свидетельствующие о существовании еще 3,0 Мт U предположительных запасов, в отношении которых издержки производства не были определены.

52. Нетрадиционные ресурсы урана и тория еще более расширяют ресурсную основу. Нетрадиционные ресурсы урана включают приблизительно 22 Мт U, которые встречаются в месторождениях фосфата, и до 4 000 Мт U, которые содержатся в морской воде. Технология извлечения урана из фосфатов отработана, и сопряженные с ней затраты оцениваются на уровне 60–100 долл./кг U. Технология извлечения урана из морской воды была пока продемонстрирована только в лабораторных масштабах, и связанные с ней затраты в настоящее время оцениваются в 300 долл./кг. Запасы тория в земной коре в три раза превышают запасы урана. При существующих оценках запасы тория плюс дополнительные ресурсы превышают 4,5 Мт, причем такие оценки рассматриваются как консервативные. Они не охватывают все регионы мира, и исторически слабый рыночный спрос ограничивает разведку тория.

53. На рис. А-6 сравнивается географическое распределение установленных традиционных ресурсов урана с распределением производства урана в 2004 году. На три страны - Австралию, Казахстан и Канаду - приходится 50% установленных традиционных ресурсов и 60% производства.

54. Производство урана в 2004 году составило 40 263 т U, что лишь приблизительно на 60% покрывает потребности реакторов во все мире (67 320 т U). Остаток был покрыт из пяти вторичных источников: запасов природного урана, запасов обогащенного урана, переработанного урана из отработавшего топлива, МОХ-топлива, в котором ²³⁵U частично замещен ²³⁹Pu из переработанного отработавшего топлива, и повторного обогащения хвостов обедненного урана (обедненный уран содержит менее 0,7% ²³⁵U).

55. Из указанных пяти вторичных источников наибольший вклад вносят накопленные запасы, создаваемые с начала коммерческой эксплуатации ядерной энергетики в конце 1950-х годов вплоть приблизительно до 1990 года. В течение этого периода производство урана неизменно превышало коммерческие потребности, главным образом благодаря более медленному, чем ожидалось, росту производства электроэнергии на АЭС, плюс высокому производству урана

⁹ Более детальная информация о деятельности Агентства, касающейся ядерных ресурсов, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/nuclear_fuel_cycle.pdf), на веб-сайте http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfems_home.html и на веб-сайте IAEA.org в разделе "Nuclear Technology Review 2006".

для военных целей. С 1990 года положение полностью изменилось, и запасы начали сокращаться. Однако точная информация не всегда доступна, и возможные будущие политические решения относительно передачи военного материала для коммерческих целей добавляют дополнительный элемент неопределенности.

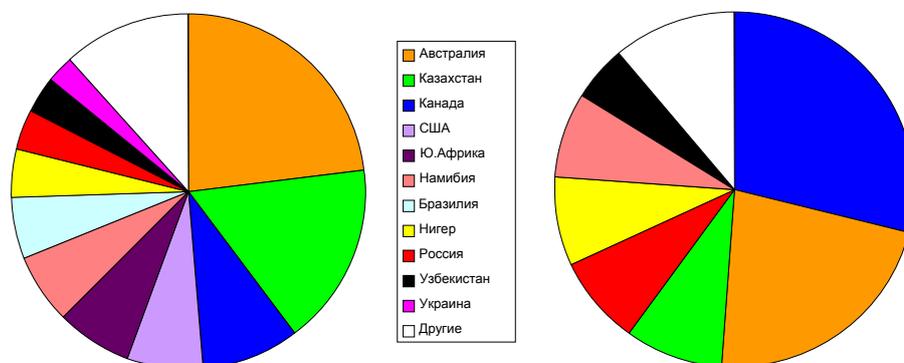


Рисунок А-6: Географическое распределение установленных традиционных запасов урана (слева) и производства урана в 2004 году (справа).

56. Рециркуляция отработавшего топлива в качестве МОХ-топлива незначительно уменьшает потребности в уране, учитывая относительно небольшое количество реакторов, использующих МОХ, и ограниченное число возможных переработок при использовании существующей перерабатывающей и реакторной технологии. Уран, регенерированный посредством переработки отработавшего топлива и известный как переработанный уран, в настоящее время рециклируется только в Российской Федерации и Франции. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что таким образом удовлетворяется меньше 1% мировых потребностей.

57. Существенными являются запасы обедненного урана, оцениваемые в начале 2005 года приблизительно в 1,5 Мт U. Однако повторное обогащение в настоящее время является экономичным лишь на заводах по центрифужному обогащению, имеющих свободные мощности и низкие эксплуатационные расходы. Полные данные отсутствуют, но статистические данные Европейского союза (ЕС) показывают, что доля повторно обогащенных хвостов составила в 2004 году 6% общего количества урана, поставленного для реакторов ЕС из Российской Федерации.

58. Цены на уран в целом снижались с начала 1980-х годов до 1994 года вследствие перепроизводства и наличия вторичных источников, и между 1990 и 1994 годами низкие цены привели к значительным сокращениям во многих секторах мировой урановой отрасли. Однако начиная с 2001 года цена урана восстановилась до уровней, характерных для 1980-х годов, и за период с 2001 года по 2006 год цена спот возросла более чем в шесть раз.

59. Таблица А-2 содержит сводку данных, касающихся прогнозируемой продолжительности использования имеющихся в мире традиционных ресурсов урана. В отношении как применяемого в настоящее время однократного топливного цикла ЛВР, так и чистого топливного цикла быстрых реакторов в таблице содержится оценка обеспеченности традиционными ресурсами урана при условии, что производство электроэнергии на АЭС останется на уровне 2004 года.

Таблица А-2. Обеспеченность ресурсами (количество лет) различных ядерных технологий

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
Применяемый в настоящее время топливный цикл (ЛВР, однократный)	85	270
Чистый топливный цикл быстрых реакторов с рециклированием	5000-6000	16 000-19 000

В. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ЯДЕРНЫЕ И ТЕРМОЯДЕРНЫЕ СИСТЕМЫ¹⁰

В.1. Усовершенствованные ядерные системы

60. В краткосрочной перспективе большая часть новых ядерных установок, вероятно, будет результатом эволюционного усовершенствования существующих конструкций. В отдаленной перспективе более инновационные разработки, включающие радикальные усовершенствования и предусматривающие существенное сокращение времени строительства и более низкие капитальные затраты, могут способствовать наступлению новой эры ядерной энергетики. Несколько инновационных конструкций предложено в категории реакторов малой (<300 МВт (эл.)) и средней (300–700 МВт (эл.)) мощности. Такие конструкции могут оказаться привлекательными для внедрения ядерной энергетики в развивающихся странах и в отдаленных местах нахождения.

61. Усовершенствованные конструкции предусматривают улучшения в трех основных областях: сокращение затрат, повышение безопасности и устойчивость с точки зрения нераспространения.

62. Для сокращения затрат в некоторых проектах упор делается на дальнейшем развитии оправдавших себя стратегий, таких, как: достижение экономии за счет увеличения масштабов производства, т.е. мощности энергоблоков; сокращение графиков строительства за счет применения модульных систем и рассмотрения вопросов лицензирования на раннем этапе; стандартизация и серийное строительство; сооружение станций с несколькими энергоблоками и более широкое привлечение местного участия; при этом в других проектах основное внимание уделяется новым стратегиям сокращения стоимости, таким, как: экономия за счет серийного производства, повышение точности кодексов и баз данных, с тем чтобы устранить избыточность конструктивных решений; разработка "умных" компонентов, способных

¹⁰ Более детальная информация о деятельности Агентства по усовершенствованным ядерным системам помещена в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/nuclear_power.pdf) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPTDS.html>. Информация о деятельности Агентства в области термоядерных систем также имеется в последнем выпуске Ежегодного доклада (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/nuclear_science.pdf). Доклад о положении дел, подготовленный Международным советом по термоядерным исследованиям и обобщающий прогресс в научных исследованиях в области термоядерного синтеза за прошедшее десятилетие, был опубликован в 2005 году в журнале "Ядерный синтез" (*Nuclear Fusion* 45 (2005) A1–A28).

обнаруживать отказы на начальном этапе и уменьшать зависимость от дорогостоящего резервирования и разнообразия средств; пассивные системы безопасности; дальнейшая разработка вероятностного анализа безопасности, с тем чтобы содействовать упрощению станции и принятию решений в области регулирования с учетом информации о риске; уменьшение числа компонентов, требующих стандартов ядерной чистоты; и более высокая эффективность использования тепловой энергии.

63. В вопросах безопасности работа над техническими усовершенствованиями включает увеличение запаса водного теплоносителя (в случае водоохлаждаемых реакторов), обеспечение более низкой плотности энерговыделения, более высоких коэффициентов отрицательной реактивности, резервных и разнообразных систем безопасности с подтвержденной высокой надежностью и пассивных систем охлаждения и конденсирования.

64. Относительно устойчивости с точки зрения нераспространения, внутренне присущие меры, предусматриваемые в различных усовершенствованных конструкциях, касаются химической формы ядерного материала, его массы и объема, радиационного поля, производства тепловой энергии и скорости самопроизвольной генерации нейтронов; сложности модификаций, необходимых для использования гражданской установки и материала для производства оружия, а также конструктивных особенностей, ограничивающих доступ к ядерному материалу.

65. Важные проектные работы по большим усовершенствованным легководным реакторам (ЛВР) осуществляются в Аргентине, Германии, Европейском союзе, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, США, Франции и Японии. Индия и Канада работают над проектами усовершенствованных тяжеловодных реакторов, а конструкции усовершенствованного газоохлаждаемого реактора разрабатываются в Китае, Республике Корея, Российской Федерации, США, Франции, Южной Африке и Японии. Было завершено рассмотрение конструкции и вопросов безопасности демонстрационного энергоблока с высокотемпературным модульным реактором с шаровыми твэлами мощностью 168 МВт (эл.) в Южной Африке, и в настоящее время идет процесс лицензионного рассмотрения. По реакторам на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем опытно-конструкторские работы осуществляются в Индии, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, Франции и Японии.

66. Перечисленные выше инициативы дополняют два крупных международных мероприятия по содействию инновациям - Международный форум "Поколение IV" (МФП) и Международный проект Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО). На МФП был рассмотрен широкий круг инновационных концепций, и в 2002 году было отобрано шесть типов реакторных систем для будущего двустороннего и многостороннего сотрудничества: газоохлаждаемые реакторы на быстрых нейтронах, реакторы с жидкометаллическим теплоносителем - свинцовым сплавом, реакторы на солевых расплавах, реакторы с натриевым жидкометаллическим теплоносителем, надкритические водоохлаждаемые реакторы и сверхвысокотемпературные газовые реакторы. В феврале 2005 года Канадой, Соединенным Королевством, США, Францией и Японией было подписано *Рамочное соглашение по международному сотрудничеству в исследованиях и разработках по ядерно-энергетическим системам поколения IV*. В соглашении разъясняются четкие основные правила совместной научно-исследовательской и другой деятельности и обеспечивается основа, на которой теперь могут согласовываться конкретные проекты МФП.

67. В 2004 году в рамках ИНПРО были опубликованы пересмотренные руководящие принципы и методология для оценки инновационных ядерно-энергетических систем (ИЯЭС). Текущая деятельность включает: завершение подготовки руководства пользователя по

методологии ИНПРО для оказания пользователям помощи в оценке ИЯЭС; применение этой методологии для оценки ИЯЭС в национальных и многонациональных исследованиях, анализ роли и структуры ИЯЭС в устойчивом удовлетворении потребностей в энергии и выбор наиболее подходящих областей для совместных разработок. В 2005 году состав участников ИНПРО возрос до 24 членов после того, как в него вошли Соединенные Штаты Америки и Украина.

В.2. Термоядерный синтез

68. В июне 2005 года была подписана совместная декларация всех сторон на переговорах относительно Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) и соглашение о начале его строительства в Кадараше, Франция. Это решение свидетельствует о новом этапе в развитии энергии термоядерного синтеза — научной и технической демонстрации технологии термоядерного синтеза в условиях, имеющих отношение к эксплуатации реактора термоядерного синтеза для производства энергии. В декабре 2005 года Индия стала седьмым членом ИТЭР.

69. Практическое использование энергии термоядерного синтеза требует решения многих трудных задач, включая возрастающую необходимость в обеспечении доступа к надежным, всеобъемлющим атомным и молекулярным данным. С приближением строительства ИТЭР многие атомные и молекулярные данные, а также вопросы взаимодействия плазмы с поверхностью приобретают возрастающее значение. Несколько важных вопросов, таких, как накопление и удаление трития, физика граничных слоев плазмы и примеси тяжелых элементов, было поставлено Международным советом по термоядерным исследованиям (МСТИ)¹¹. В 2006 году будет предпринята инициатива, направленная на изучение и количественное определение эрозионных характеристик материалов стенки защитной оболочки термоядерного реактора, которая будут оказывать непосредственное влияние на понимание проблемы поглощения трития компонентами стенки.

70. Более глубокое понимание физики удерживаемой плазмы ведет к улучшению параметров оптимизированной эксплуатации термоядерных электростанций. Разработка альтернативных схем магнитного удержания, таких, как сферические токамаки и стеллараторы (устройства, используемые для удержания горячей плазмы магнитными полями с целью поддержания управляемой реакции термоядерного синтеза), также характеризовалась существенным прогрессом в отношении достигнутых эксплуатационных параметров. Самый большой в мире стелларатор "Венделштайн-7Х", который сооружается в Германии и который планируется ввести в эксплуатацию к 2010 году, позволит активизировать научные исследования по теме стационарного режима работы термоядерных электростанций.

71. Прогресс в понимании физических процессов при проведении исследований термоядерного синтеза с инерционным удержанием плазмы позволил разработать проект и изготовить две мегаджоулевые лазерные установки для экспериментов с термоядерным зажиганием: в Ливерморе, США, сооружается Национальная установка для термоядерного поджига, а во Франции рядом с Бордо сооружается установка "Laser Megajoule". Они, как ожидается, будут готовы к проведению экспериментов в 2008–2010 годах. Разрабатывается также новый подход к инерционному термоядерному синтезу, называемый "быстрый поджиг",

¹¹ В 2005 году МСТИ опубликовал "Доклад о положении дел в исследованиях по термоядерному синтезу" в журнале "Термоядерный синтез" (*Nuclear Fusion* 45 (2005) A1–A28), в котором обобщается прогресс в проведении научных исследований в области термоядерного синтеза, достигнутый за последнее десятилетие.

который требует применения сверхинтенсивного лазера. Уже на продвинутой стадии находится разработка в рамках программы эксперимента по осуществлению быстрого поджига (FIREX) в Осаке, Япония, сверхинтенсивных лазеров с импульсом продолжительностью менее пико секунды.

C. АТОМНЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ДАННЫЕ

72. Широкий и всеобъемлющий диапазон атомных и ядерных данных является важнейшей предпосылкой для проведения фундаментальных научных исследований в области ядерной физики и успешного планирования, разработки и эксплуатации АЭС и связанных с ними установок для переработки и обращения с отходами, а также для таких применений, как ядерная медицина и конкретные ядерные аналитические методы. Возрастающий интерес к применению систем, управляемых ускорителем (СУУ), приведет к более высокому спросу на надежные ядерные данные высокого качества как для целей реакторной физики/техники, так и для расчетов переноса радиоактивности.

73. Были подготовлены более надежные данные для обеспечения большего доверия к оценкам, касающимся ядерных и термоядерных систем, включая такие важные параметры, как сечение захвата тепловых нейтронов урана-238, данные, касающиеся закона теплового рассеивания, обновленные сечения для нейтронных расчетов термоядерных устройств и СУУ, и другие важные атомные и ядерные параметры. Другие достижения в области сбора и оценки атомных и ядерных данных продолжают, например, обеспечивать получение атомных и молекулярных данных по моделированию плазмы и примесям тяжелых химических элементов в термоядерных реакторах.

D. ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ

D.1. Ускорители

74. Использование ускорителей заряженных частиц, в частности ускорителей протонов и электронов, продолжает обеспечивать существенный прогресс в области разработки современных материалов, здравоохранения, физических наук и науки о жизни. Заметной тенденцией является появление новых применений, например, сфокусированных ионных пучков для микромеханической обработки, в нанотехнологии и в качестве методов облучения клетки.

75. Проявляется все больший интерес к поведению нестандартных материалов в условиях применения ионных пучков. Например, исследования позволяют лучше понять взаимосвязь структуры и свойств следующего поколения изоляционных материалов.

76. В стадии сооружения в США и Японии находятся два новых импульсных источника нейтронов скалывания (один из процессов, который позволяет использовать ускоритель частиц для получения пучка нейтронов). Существующие источники нейтронов скалывания, например ИСИС в Соединенном Королевстве и SINQ в Швейцарии, модернизируются, и в результате становятся возможными новые применения в физике, физике полупроводников, магнетизме и биологии.

D.2. Исследовательские реакторы

77. Производство радиоизотопов, использование нейтронных пучков, легирование кремния и облучение материала продолжают оставаться основными применениями на многих исследовательских реакторных установках. Строятся новые исследовательские реакторы, такие, как реактор ОПАЛ в Австралии, усовершенствованный исследовательский реактор (CARR) в Китае и TRIGA-II в Марокко, недавно были введены в эксплуатацию такие реакторы, как FRM-II в Германии и малогабаритный реактор - источник нейтронов (МРИН) в Нигерии. В Бельгии на продвинутой стадии находится разработка новой облучательной установки на основе ускорителя - MYRRHA. Предполагается, что MYRRHA будет служить в качестве европейской многоцелевой исследовательской установки.

78. FRM-II в Германии предназначен для использования нейтронного пучка и имеет ряд технологических особенностей, в том числе вторичный источник нейтронов, и такие дополнительные устройства, как направляющие устройства для нейтронов, предназначенные для проведения специальных экспериментов. Указанные средства полезны для целей исследования мягких полимеров, биологических видов и жидкостей и разупорядоченных материалов. С другой стороны, исследовательский реактор МРИН в Нигерии будет экстенсивно использоваться для активационного анализа с целью применения в таких областях, как экология, продовольствие и сельское хозяйство.

79. Многоцелевые исследовательские реакторы, такие, как реактор ОПАЛ в Австралии и CARR в Китае, предполагается ввести в строй в 2006 году; в качестве основных видов деятельности на них будет начато производство радиоизотопов, легирование кремния и применение нейтронного пучка¹².

80. 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 низкообогащенного урана (НОУ). Другими видами деятельности в рамках Программы RERTR являются продолжение оказания поддержки в целях разработки и аттестации высокоплотных видов НОУ топлива и содействия производству радиоактивного молибдена-99 при использовании мишеней из НОУ.

81. Надежность поставок радиоизотопов в будущем вызывает озабоченность, если в настоящее время должное внимание не будет уделяться удовлетворению будущих потребностей, связанных с облучением на исследовательских реакторах. Существуют только четыре крупных промышленных продуцента молибдена-99, однако значительно большее число исследовательских реакторов используется для облучения мишеней из ВОУ/НОУ. Среди промышленных компаний не наблюдается какой-либо заметной тенденции к переключению на использование мишеней из НОУ, поэтому в рамках Программы RERTR этому вопросу уделяется дополнительное внимание. Заметным достижением в этой связи является успешная демонстрация Национальной комиссией по ядерной энергии (CNEA) Аргентины среднemasштабного производства молибдена-99 при использовании производимых на месте мишеней из НОУ.

¹²Дополнительная документация имеется на сайте IAEA.org в разделе "Nuclear Technology Review 2006".

Е. ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОИЗОТОПОВ И РАДИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Е.1. Применения радиоизотопов

82. Более 150 различных радиоизотопов в разных формах используются для различных применений во многих секторах, имеющих экономическое значение, включая медицину, обработку пищевых продуктов, промышленность, сельское хозяйство, безопасность конструкции и научные исследования. Возможности для расширения применения радиоизотопов и распространения связанных с ними выгод на развивающиеся страны продолжают оставаться высокими. Радиоизотопы производятся как минимум в двадцати пяти странах, хотя, как сообщается в обзоре МАГАТЭ/ОЭСР, производителями изотопов, вероятно, также являются еще свыше тридцати стран¹³. Большая часть изотопных применений приходится на медицину, за ней следуют промышленность и научные исследования.

83. Системы радионуклидных генераторов продолжают играть ключевую роль в обеспечении как диагностическими, так и терапевтическими радиоизотопами различных применений в ядерной медицине, онкологии и интервенционной кардиологии. В радионуклидной терапии предпочтение отдается применению иттрия-90, поскольку материнский радионуклид стронций-90 получают в больших количествах при переработке отработавшего топлива. Извлечение стронция-90, сопровождаемое крупномасштабным централизованным выделением иттрия-90, или производство радионуклидных генераторов могло бы стать основным радиохимическим процессом в странах, имеющих заводы по переработке ядерного топлива.

84. Во многих развивающихся странах растет интерес к созданию медицинских циклотронов для производства радиоизотопов. В качестве экономичного способа производства радиоизотопов изучается процесс получения изотопов иода при использовании мишени из обогащенного теллура.

Е.2. Радиационная технология

Е.2.1. Нанотехнология для промышленности и здравоохранения

85. В Германии были разработаны радиационно-отверждаемые полимерные нанокомпозиты с улучшенными поверхностными механическими свойствами. Прозрачные, царапиноустойчивые и абразивно-стойкие покрытия были получены радиационным отверждением акрилатных композиций с высоким содержанием наноразмерных модифицированных частиц кремнезема и наполнителя на основе оксида алюминия.

86. Макроскопические полимерные гели - теперь это хорошо разработанные биоматериалы, которые обычно используются в качестве мягких контактных линз, гидрогелевых повязок на рану и средств для контролируемой доставки лекарственных препаратов. Имеется растущая заинтересованность в синтезе, свойствах и применениях микроскопических полимерных гелей, т.е. микрогелей и наногелей. Наногели представляют собой субмикронные сшитые полимерные структуры, размеры которых подобны величине одной полимерной молекулы в растворе. Такие гели имеют потенциальные применения в качестве носителей лекарственных препаратов и генов, полимерных препаратов, биомаркеров, а также подложек для разделения и адсорбции биомолекул. Наногели главным образом получают путем эмульсионной полимеризации.

¹³ Beneficial Uses and Production of Isotopes, Агентство по ядерной энергии, публикация ОЭСР и МАГАТЭ, No. 5293, 2005.

Группой разработчиков в Польше было предложено внутримолекулярное сшивание одиночных полимерных спиралей короткоимпульсным облучением разбавленных растворов электронами, и этот метод обладает преимуществом, заключающимся в отсутствии мономеров, сшивающих агентов и других потенциально токсичных соединений, которые требуются в традиционных процессах.

87. В технологии непосредственного экспонирования электронно-лучевая литография широко использовалась для изготовления устройств на интегральных схемах наномасштаба. Электронно-лучевой литографский инструмент использовался исследователями Университета в Глазго, СК, для изготовления элементов, имеющих всего 20 нм в диаметре, с шагом 100 нм, что обеспечивает получение решеток наноточек для использования в клеточной инженерии.

Е.2.2. Контроль промышленных процессов

88. Методы радиоактивных индикаторов и закрытых источников по-прежнему широко используются в различных отраслях промышленности для обеспечения более эффективного контроля процессов производства, повышения эффективности процессов, качества продукции и увеличения количества, а также проверки информации, получаемой другими методами.

89. Промышленная томография может обеспечивать получение детальной информации о распределении плотности в конкретных сечениях химического реактора. В настоящее время для измерения пространственного распределения плотности внутри технологических корпусов или трубопроводов разработчиками и изготовителями химических технологических систем используется гамма-трансмиссионная томография. Разработка стандартного промышленного томографического сканера для применения на месте, однако, представляется сложным делом ввиду большого разнообразия мест нахождения, окружающей среды и конструкций промышленных технологических колонн. Разработка переносных/транспортных систем томографической визуализации с использованием радиоизотопных источников в будущем будет играть значительную роль в качестве обязательного диагностического инструмента для контроля промышленных процессов и систем.

90. Метод однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (СПЕКТ), который в основном используется в ядерной медицине, вскоре, по-видимому, будет применяться для диагностики промышленных реакторов. Информация, полученная с помощью метода СПЕКТ, будет более надежной и конкретной, чем данные, получаемые посредством других методов. Гамма-эмиссионная томография является новым методом в исследовании динамики потоков в промышленных реакторах. Например, с помощью этого метода было исследовано распределение расхода жидкости в реакторах со струйным течением жидкости. Рисунок Е-1 иллюстрирует пример исследования радиального распределения расхода жидкости в промышленной колонне, подобной той, которая используется на нефтеперерабатывающем заводе.

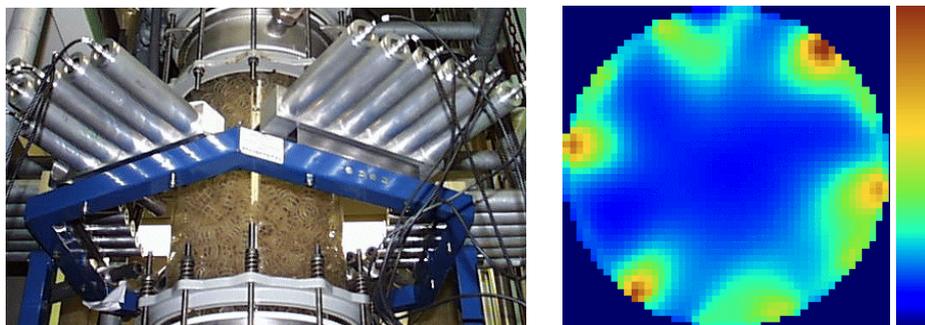


Рисунок Е-1: система томографии с 36 коллимированными детекторами, установленная вокруг колонны. Вводится жидкая фаза, меченная ^{99m}Tc , и результаты показывают, что небольшое количество воды протекает по стенке колонны.

Ф. ЯДЕРНЫЕ МЕТОДЫ В ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОБЛАСТЯХ

Ф.1. Улучшение и защита сельскохозяйственных культур

91. Ядерные методы являются полезными инструментами в арсенале селекционеров растений и играют значительную роль в улучшении сельскохозяйственных культур. Применения ядерных методов в этой области включают индуцирование мутаций для повышения изменчивости зародышевой плазмы с использованием гамма-излучения, рентгеновского излучения и быстрых нейтронов; мечение нуклеиновых кислот, используемых в качестве зондов для генетического фингерпринтинга, картирования и селекции с помощью маркеров; а также мутагенез для анализов функции генов.

92. Индуцированные мутации, вызванные гамма-излучением, рентгеновским излучением, быстрыми нейтронами или химическими реагентами, обеспечили достижение некоторых крупных успехов в селекции растений. Отбор и использование полезных мутантов селекционерами растений производился в течение более 50 лет. К настоящему времени почти 2 500 официально зарегистрированных мутантных сортов более чем 160 видов растений во всем мире занесены в Базу данных ФАО/МАГАТЭ по мутантным сортам. Например, мутантный культурный сорт риса (VND95-20), характеризующийся высоким качеством и солеустойчивостью, был введен в культуру во Вьетнаме и является теперь одним из пяти главных экспортных сортов риса, занимающих 28% площадей возделывания экспортного риса, составляющих один миллион гектаров, в дельте реки Меконг. Площадь целевых районов выращивания солеустойчивого культурного сорта риса только в Бангладеш, Индии, на Филиппинах и во Вьетнаме оценивается в 4,3 млн. гектаров.

93. Расшифровка функции гена - теперь основной объект исследований в генетике. Большие объемы легко доступной информации о последовательностях ДНК и индуцированных мутантах становятся ключевыми элементами в генетических исследованиях, поскольку они обеспечивают ресурсы для систематического выявления и функционального анализа генов. Введение индуцированных локальных повреждений в геномах (TILLING) является примером метода, в котором могут быть быстро определены мутанты целевых генов. Этот метод теперь применяется к рису, пшенице и ячменю и демонстрирует значительный потенциал в качестве способа рассечения генов, которые контролируют ценные признаки разнообразных сельскохозяйственных культур или оказывают на них влияние.

94. Использование и трансграничная перевозка стерильных насекомых были до настоящего времени исключены из Международных стандартов по фитосанитарным мерам № 3 (ISPM 3), "*Кодекс поведения по импорту и разрешению использования экзотических средств биологической борьбы*", Международной конвенции по защите растений (МКЗР), поскольку эти средства биологической борьбы были определены как самовоспроизводящиеся организмы. В апреле 2005 года был одобрен пересмотренный вариант ISPM 3, озаглавленный "*Руководящие принципы экспорта, перевозки, импорта и разрешения использования средств биологической борьбы и других полезных организмов*", который содержит прямую ссылку на стерильных насекомых в качестве полезных организмов. Кроме того, термины "стерильное насекомое" и "метод стерильных насекомых" (МСН)¹⁴ были включены в *Глоссарий фитосанитарных терминов* МКЗР. Это будет содействовать применению МСН в государствах-членах и

¹⁴ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе "*Nuclear Technology Review 2006*".

показывает, что использование стерильных насекомых в целях комплексной борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур теперь всемирно признано в рамках Соглашения по применению санитарных и фитосанитарных мер Всемирной торговой организации.

Г.2. Животноводство и ветеринария

95. Молекулярная и связанная с ядерными методами диагностика представляет особый интерес в ветеринарии, поскольку она может повышать чувствительность и специфичность методов обнаружения болезней животных до ранее недостижимого уровня. Несмотря на возрастающее использование нерадиоактивных методов, сохраняется потребность в применении радиоизотопов для идентификации и определения характеристик белков, ДНК и рибонуклеиновой кислоты (РНК) ввиду высоких уровней чувствительности, которых они позволяют достигнуть. Развитие событий в микротехнологии, микрожидкостной технологии и нанотехнологии открывает возможности для производства более чувствительных, быстрых и надежных устройств, которые способны работать в разнообразных условиях. Так называемые устройства "лаборатория на чипе" обеспечивают способность интегрировать сложную лабораторную диагностику (обработку образцов, целевую амплификацию и обнаружение, а также дифференцирование обнаружения) в одном миниатюрном устройстве. Важная цель в осуществляемой в настоящее время разработке диагностических устройств состоит в том, чтобы сделать их пригодными для использования в полевых условиях, таким образом сокращая время реакции при реализации превентивных или контрольных мер. В дополнение к более классическим ядерным технологиям ядерные методы осуществления экспрессии генов обеспечивают более глубокое понимание факторов питания, репродукции и возникновения болезней, что позволяет применять простые манипуляции, направленные на повышение продуктивности животноводства.

96. В историческом плане радиоиммуноанализ (РИА), в котором радиоизотопы используются для измерения концентрации данной молекулы в биологической пробе, был доминирующей технологией в области воспроизводства и размножения животных. Радиоизотопы также служат в качестве основы в случае ряда технологий, в которых используется мечение нуклеотидов. Включая радиоизотопы (такие, как фосфор-32, фосфор-33 или сера-35) в короткие синтетические ДНК-зонды, исследователи получают в распоряжение способ определения полиморфизма ДНК (который позволяет проводить идентификацию генов, влияющих на представляющие интерес признаки) и подтверждения происхождения и/или измерения количества ДНК или РНК в данной биологической пробе. С помощью последующих испытаний можно определить, какие животные являются носителями более высоких форм генов, представляющих интерес, и эта информация может использоваться для повышения точности селекции и, таким образом, производительности. Кроме того, идентификация и радиоиндикаторные исследования полиморфизмов ДНК могут внести вклад в определение генетических характеристик желательных пород и привлечь внимание к вопросам сохранения генетического фонда. Новые технологии, такие, как двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, магнито-резонансная спектроскопия и компьютерная томография, могут обеспечить получение методов определения композиционного состава тела, качества туш и мускулистости без необходимости убоя животных.

97. Последние достижения в повышении специфичности радиоиммуноанализов лептина (белкового гормона, который играет ключевую роль в метаболизме и регулировании жировой ткани) и инсулино-подобных факторов роста, а также углубленные знания их механизмов действия свидетельствуют о возможности их использования (индивидуально или в сочетании с водой, меченой кислородом-18 и водородом-2), а также использования методов измерения скорости поступления диоксида углерода с применением углерода-13 или углерода-14 в целях

анализа питательного, репродуктивного и энергетического статуса животных. Неинвазивные ядерные методы, такие, как индуцированное протонами рентгеновское излучение, индуцированное протонами гамма-излучение, термоионизационная масс-спектрометрия, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и рентгеновская флуоресцентная спектрометрия для элементного анализа, находят все большее применение в исследованиях питательных и токсикологических факторов у сельскохозяйственных животных.

Г.3. Качество и безопасность пищевых продуктов

98. Системы контроля качества пищевых продуктов должны учитывать всю цепь производства пищевых продуктов в целях обеспечения качества, безопасности и пищевой ценности продуктов растительного и животного происхождения, предназначенных для потребления человеком, причем эти аспекты являются также важными для трансграничной торговли. В настоящее время все большее число правительств придерживается этой концепции, отчасти в результате роста озабоченностей потребителей в отношении безопасности пищевых продуктов. Ядерные и связанные с ними методы помогают правительствам реализовывать основанный на пищевой цепочке подход благодаря разработке методологий, индикаторов и руководящих принципов, которые защищают пищевые цепочки от проблем, связанных с угрозой безопасности, в самом источнике посредством применения образцовой сельскохозяйственной практики, включая координированный подход в применении наилучшей практики рационального использования воды. Эта деятельность включает усовершенствование управления качеством в лабораториях и аналитических методов с целью соблюдения международных норм в отношении пестицидов, микотоксинов и остатков ветеринарных лекарственных препаратов. Сюда входит принятие на 28-й сессии Комиссии по Codex Alimentarius ФАО/ВОЗ совместно разработанных Руководящих принципов Codex Alimentarius по применению масс-спектрометрии (МС) для идентификации, подтверждения и количественного определения остатков.

99. Успешное применение ранее принятых международных норм, касающихся использования ионизирующих излучений, которые в настоящее время применяются более чем в 50 странах во всем мире для борьбы с переносимыми через продукты питания патогенами и насекомыми-вредителями, находит свое отражение отчасти в недавнем принятии еще в пяти странах согласованных регулирующих положений в отношении различных типов пищевых продуктов.

100. Другая деятельность, связанная с применением международных норм защиты потребителя и содействием сельскохозяйственной торговле, включает онлайн-базу данных¹⁵ по первым действиям правительств в случае ядерной аварийной ситуации, воздействующей на сельское хозяйство. Международная торговля, осуществляемая с подвергшимися воздействию регионами, будет также укреплена благодаря совместным усилиям по пересмотру и дополнению норм с целью включения дополнительных изотопов в рамках принятых Codex Alimentarius Ориентировочных допустимых уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах после ядерного аварийного загрязнения для использования в международной торговле, а также охвата периода свыше одного года после ядерной аварии или радиологического события.

¹⁵ Доступ к этой базе данных по адресу: <http://www.iaea.org/programmes/nafa/dx/emergency/index.html>.

Г. ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Г.1. Исследования проблем питания и окружающей среды, связанных со здравоохранением

101. Методы, основанные на использовании стабильных изотопов, в прошлом использовались в качестве инструментов исследования пищевой ценности продуктов, однако теперь также применяются для разработки и оценки программ питания. Эти методы могут применяться в случае наиболее уязвимых групп населения, т.е. младенцев и детей, поскольку в этих методах используются только стабильные (нерадиоактивные) изотопы. Чувствительность и специфичность измерений повышается по сравнению с традиционными методами в результате использования стабильных изотопов. Например, можно добиться лучшего понимания эффективности нутриционных вмешательств с учетом изменений в композиционном составе тела (мышечной массе), измеряемых методами, основанными на использовании стабильных изотопов. Такие методы могут решить проблему необходимости оценки локально целесообразных, устойчивых продовольственных стратегий в отношении питательного статуса людей, живущих с ВИЧ/СПИД, и придания важности интеграции вопросов питания в комплексное реагирование на ВИЧ/СПИД, как было недавно подчеркнуто Всемирной организацией здравоохранения.

Г.2. Ядерная медицина для целей визуализации¹⁶ и терапии

102. Визуализация с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) стала теперь доминирующей темой большинства конференций и совещаний по медицинской визуализации, и отмечается значительное увеличение числа публикаций по ПЭТ (см. рис. G-1). Этот метод, в котором используются сверхкороткоживущие радиоизотопы, присоединенные к биологическим маркерам, позволяет врачам ядерной медицины исследовать функцию органа на молекулярном уровне. В частности, с использованием меченной радиоактивными изотопами глюкозы, известной как ФДГ (18-фтордезоксиглюкоза) или С11-холин, можно изучать метаболизм глюкозы и аминокислот в органах. Изображения ПЭТ в сочетании с рентгеновской компьютерной томографией (КТ) обеспечивают изучение сложных деталей и истинных количественных изменений здоровья пациентов, что, таким образом, приводит к изменению способов лечения болезней.

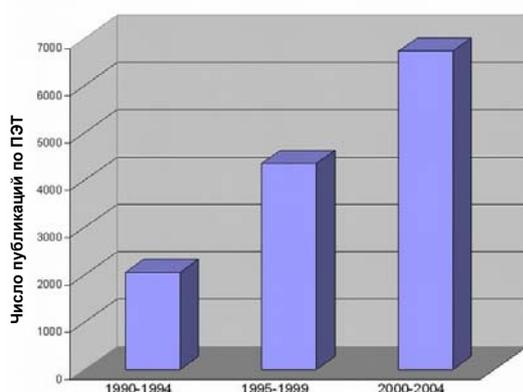


Рисунок G-1: рост числа научных публикаций по ПЭТ в биомедицинских научных журналах (источник: Medline) в течение последних 15 лет, отражающий влияние, которое этот метод оказывает на визуализацию картины раковых и других заболеваний.

¹⁶ Дополнительная документация размещена на сайте IAEA.org в разделе "Nuclear Technology Review 2006".

103. В течение прошедших нескольких десятилетий повышение быстродействия компьютеров привело к революции в технологии медицинской визуализации. Ожидается, что в следующем десятилетии наиболее современные радиологические отделения медицинских учреждений будут оснащены плоскими панельными устройствами для визуализации, что, таким образом, обеспечит переход к "беспленочным" методам и цифровой технологии. Отказ от химической обработки пленок повышает эффективность с точки зрения затрат и ведет к существенному повышению качества изображения и надежности, а также может обеспечить общее сокращение облучения пациентов от диагностического рентгеновского излучения. Эти достижения, наряду с цифровым по своей природе характером систем компьютерной томографии, обеспечивают основу для электронной системы регистрации медицинских данных, которая могла бы содержать все медицинские данные индивидуальных пациентов, включая визуализационные исследования, проведенные в течение всей жизни.

104. Большим достижением в применении терапевтических методов ядерной медицины является использование на регулярной основе меченных радиоактивным изотопом моноклональных антител anti-CD20 при лимфоме и меченных радиоактивным изотопом пептидов особенно для лечения нейроэндокринных опухолей. Это в конечном счете открывает новую эру в целевой терапии, которая имеет значительно меньше побочных эффектов по сравнению с традиционной химиотерапией. Широкий спектр радиофармпрепаратов имеется также в распоряжении ядерной медицины для обеспечения эффективного паллиативного лечения. Они особенно полезны в случае метастатических проявлений, когда радиотерапия не представляется возможной, и, таким образом, обеспечивают эффективное с точки зрения затрат повышение качества жизни. Меченные радиоактивным изотопом терапевтические антитела позволяют значительно улучшить медицинское обслуживание пациентов, а при использовании вместе с химиотерапевтическими препаратами – повысить общие показатели выживаемости.

G.3. Дозиметрия и медицинская радиационная физика

105. Самый современный метод в технологии лечения рака называется теперь "дозовый пэйнтинг", и его применение определяется достижениями в функциональной визуализации. С появлением магнитно-резонансной визуализации (МРВ) стало возможным выполнять спектральные исследования или получать функциональные изображения МРВ, которые показывают участки опухоли с различными уровнями активности. Однако за последние несколько лет ПЭТ стала основным методом функциональной визуализации. Теперь можно определять расположение участков в пределах опухолей, которые могут требовать более высокой дозы излучения, например, ввиду того, что клетки испытывают дефицит кислорода и, следовательно, являются более стойкими к воздействию излучения или поскольку локальное кровоснабжение быстро расширяется, возможно, показывая агрессивный участок, пораженный болезнью. Это будет почти наверняка приводить к дозам, изменяемым и доставляемым к различным функциональным частям опухоли. Дозовый пэйнтинг может изменяться от одной терапевтической сессии к другой при использовании функциональных визуализационных исследований для периодического контроля реакции опухоли.

G.4. Радиофармпрепараты

106. Технеций-99m остается наиболее широко используемым радиоизотопом в диагностической ядерной медицине во всем мире, и каждый день выполняется свыше 40 000 процедур. Объемы использования радиофармпрепаратов в диагностической ядерной медицине продолжают ежегодно расти на 10-15%.

107. Использование терапевтических радиофармпрепаратов расширяется, и разрабатываются многие новые радиофармпрепараты, в которых применяются испускающие частицы радионуклиды. Несколько радиофармпрепаратов на основе иттрия-90 для лечения рака и артрита находятся теперь на стадии клинических испытаний, и предусматривается их широкое применение в будущем. Вызывает интерес применение лютеция-177, идеального терапевтического радионуклида с достаточно длительным периодом полураспада, который обеспечивает легкую подготовку и отправку конечного продукта.

G.5. Радиационная онкология

108. Основным достижением в области радиотерапии в последние годы было выявление на основе нескольких высококачественных клинических испытаний того факта, что дополнение радиотерапии фармацевтическими средствами повышает выживание пациентов при многих распространенных формах рака, таких, как рак легких, шейки матки, груди, головы и шеи, желудка, прямой кишки, головного мозга и предстательной железы. Однако в некоторых случаях такой результат достигается за счет повышения токсичности. Продолжаются исследования, цель которых - изменить фармацевтические средства и их целевые молекулы таким образом, чтобы обеспечить сохранение их радиосенсибилизирующего воздействия на ткани, пораженные раком, при снижении токсичности для здоровых тканей. Проводятся также исследования по мониторингу замедленной токсичности химических модификаторов при воздействии излучения, а также по идентификации целевых молекул, помогающих раковым клеткам избегать гибели после облучения, и мишеней, ответственных за лучевое поражение здоровых тканей.

109. В течение последних двух десятилетий происходило постоянное развитие брахитерапии, которая заключается в размещении закрытых радиоактивных источников в непосредственной близости от ткани-мишени или в контакте с ней. В случае такой методики высокие дозы излучения могут быть безопасно доставлены к ограниченному объему мишени в течение короткого времени. Новые источники высокой мощности дозы (ВМД), технология дистанционного управления, хирургические методы и программное обеспечение планирования лечения внесли свой вклад в быстрое развитие этой эффективной методики лечения. В частности, недавнее усовершенствование источников ВМД на кобальте-60 может позволить проводить современные процедуры брахитерапии ВМД с менее частой заменой источников, чем это необходимо в случае других источников.

Н. ВОДА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Н.1. Водные ресурсы

Н.1.1. Методы изотопной гидрологии

110. Рациональное использование подземных вод – это ключевой вопрос устойчивого развития человечества, особенно в полузасушливых и засушливых регионах. Растущие потребности в воде и ограниченная доступность (а во многих случаях и неудовлетворительное качество) запасов поверхностных вод привели к быстрому освоению ресурсов подземных вод для целей водоснабжения, ирригации и промышленного использования. При рациональном планировании для разработки и применения рациональных стратегий развития водных ресурсов необходимо правильное понимание свойств водоносного горизонта (происхождения подземных вод, скоростей пополнения и обновления, уязвимости к загрязнению и сообщений между водоемами).

111. Агентство начало работу по сбору и распространению изотопных данных, касающихся водоносных горизонтов и рек всего мира. Эти данные также используются для построения тематических карт ископаемой воды с целью оказания помощи лицам, принимающим решения в отношении выбора лучшей практики рационального использования подземных вод.

112. Разработка в 1950-х годах газового масс-спектрометра с системой двойного напуска привела к резкому росту использования изотопов в гидрологии и геологии. Новые технологические достижения в изотопном анализе гидрологических проб открывают большие перспективы для революционных преобразований в использовании изотопов для целей управления водными ресурсами. Переносной прибор, основанный на лазерной технике, стал доступным для применения в настольном варианте или в полевых условиях. Этот относительно недорогой, не требующий высокой квалификации в применении и низкочувствительный - по сравнению с масс-спектрометром с системой двойного напуска – прибор может использоваться как исследователями, так и практикующими врачами с минимальными эксплуатационными расходами, и он позволит преодолеть барьер на пути к более широкому использованию изотопов в гидрологии, которым является отсутствие легкодоступного изотопного анализа. Использование лазерного изотопного прибора может привести к значительному увеличению числа изотопных измерений, проводимых во всем мире, что позволит получить необходимую информацию для решения некоторых ключевых гидрогеологических проблем, таких, как понимание процессов пополнения водоносных горизонтов и управление ими, определение структуры потока подземных вод или выяснение связей между поверхностными и грунтовыми водами.

Н.1.2. Опреснение

113. В использовании ядерной энергии для опреснения морской воды отмечается постоянный прогресс, обусловленный растущим глобальным спросом на пресную воду и разработками реакторов малой и средней мощности, которые могут стать более подходящими для опреснения воды, чем энергетические реакторы большой мощности. В области ядерного опреснения Япония имеет свыше 143 реакторо-лет опыта и Казахстан – 26 реакторо-лет эксплуатации до закрытия быстрого реактора в Актау в 1999 году.

114. Индия продолжает работы по полному вводу в эксплуатацию демонстрационной ядерной опреснительной установки в Калпаккаме, на которой в течение ряда лет осуществляется опреснение с использованием метода обратного осмоса (ОО), а с 2006 года для опреснения намечено использование процесса многостадийной дистилляции. В 2004 году Индия на тяжеловодном исследовательском реакторе CIRUS в Тромбее ввела в эксплуатацию низкотемпературную испарительную установку, в которой отработанное тепло замедлителя реактора используется для производства высококачественной пресной воды из морской воды. В 2005 году Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии (KAERI) подал заявку на получение разрешения на сооружение в масштабе 1/5 прототипа системно-интегрированного модульного усовершенствованного реактора (SMART) мощностью 65 МВт (тепл.) с опреснительным блоком. Пакистан начал строительные работы по сопряжению многостадийной опреснительной установки с существующим корпусным тяжеловодным реактором на АЭС "Карачи" для демонстрационных целей. В Китае, в Институте ядерных и новых энергетических технологий, была создана испытательная система для проверки пригодности термогидравлических параметров процесса многоступенчатой пленочной дистилляции. В Египте строительство испытательной установки для ОО с предварительным подогревом намечено завершить в 2006 году.

Н.2. Окружающая среда

Н.2.1. Разминирование

115. Исследования применимости ядерных методов для обнаружения взрывчатых веществ, в том числе наземных мин, показали, что достаточно надежное обнаружение объектов массой менее 100 г невозможно, особенно в условиях мокрой или влажной среды, и что методы, базирующиеся на обратном рассеянии нейтронов, применимы только в засушливых зонах, поскольку во взрывчатом веществе обнаруживается именно водородная составляющая. Трудно выделить какой-либо один ядерный метод в качестве наилучшего или главного метода обследования. Более вероятно, что ядерные методы будут служить в качестве "подтверждающих", после первоначальной идентификации неконкретной подозрительной пробы/зоны. Для последней задачи необходимы также какие-либо неядерные методы. В этой связи рядом групп как из развитых, так и из развивающихся стран при координации со стороны Агентства проводятся дальнейшие исследования в целях разработки применения какого-либо сочетания методов, в которых будут использоваться нейтроны различных энергий (а также определения приемлемых источников нейтронов для полевых применений).

Н.2.2. Радионуклидные индикаторы для построения совместной модели океанической циркуляции и климата

116. Океаническая циркуляция – это один из ключевых процессов, которые управляют нашим климатом. Использование радионуклидов в качестве радиоиндикаторов для изучения океанических процессов в значительной степени определяется новейшими достижениями в разработке чистых методов отбора проб и анализа, а также высокоточными измерениями посредством масс-спектрометрии. Эти методы явились одной из движущих сил недавно осуществленной международной исследовательской программы GEOTRACES, которая направлена на координацию исследований по океаническому круговороту микроэлементов и их изотопов. Ожидается, что эта программа значительно улучшит понимание поведения радионуклидов в океане.

Н.2.3. Бионакопление в морских пищевых цепочках

117. Радионуклиды и металлы могут накапливаться водными организмами, и их концентрация может увеличиваться, если выделение меньше, чем поглощение, - такой процесс называется бионакоплением, и он может приводить к повышению потенциала токсичности загрязнителя в пищевой цепочке. Некоторые исследования показали, что бионакопление может происходить в случае токсичных радионуклидных и металлических загрязнителей, таких, как полоний, селен, цинк и кадмий. Очевидно, что металлы, которые связаны с белками в биоте, будут биоаккумулироваться с большей вероятностью, однако пока еще нет результатов систематической оценки бионакопления различных металлов в морских пищевых цепочках. Используя радиоактивные индикаторы, Лаборатория морской среды Агентства начала исследования по целому ряду металлов с целью измерения их потенциала бионакопления в различных морских пищевых цепочках.

Н.2.4. Исследование круговорота углерода с помощью компонентно-специфического изотопного анализа

118. Океаны содержат в 50 раз большее количество диоксида углерода (CO_2), чем атмосфера, и каждый год они поглощают 30-40% CO_2 , образующегося от сжигания органического топлива человеком. Океаны, таким образом, играют центральную роль в глобальном балансе массы углерода. Изотопы углерода (углерод-14 и углерод-13) позволяют геохимикам отслеживать глобальные циклы CO_2 , и такие методы будут ценными инструментами в оценке будущих вариантов смягчения возможных последствий. Изотопные химики добились миниатюризации и смогли объединить эти изотопные методы и получить газовую хроматографию - изотопную масс-спектрометрию (GC-IRMS), которая обеспечивает возможность проведения анализов отношений изотопов углерода в пределах менее одной миллионной грамма органического соединения, что позволяет определять значительно больше источников, путей распространения и эволюцию большего количества органических соединений и загрязняющих веществ в окружающей среде.