

Генеральная конференция

GC(49)/INF/3

Date: 25 July 2005

General Distribution

Russian

Original: English

Сорок девятая очередная сессия

Пункт 18 предварительной повестки дня
(GC(49)/1)

Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат представляет всеобъемлющий *Обзор ядерных технологий* каждые два года с краткими обновлениями в промежуточные годы. Настоящий доклад является таким обновлением, и в нем освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2004 году.
- В *Обзоре ядерных технологий — обновление 2005 года* рассматриваются следующие области: атомные и ядерные данные, энергетические применения, ядерные методы в продовольствии и сельском хозяйстве, здоровье человека, водные ресурсы, морская и земная среды, использование исследовательских реакторов, использование ускорителей и контроль промышленных процессов.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти в *Ежегодном докладе за 2004 год* МАГАТЭ (GC(49)/5), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в *Докладе о техническом сотрудничестве за 2004 год* (GC(49)/INF/2).
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета и другие замечания, полученные от государств-членов.

Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года

Доклад Генерального директора

Содержание

Сорок девятая очередная сессия	1
Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года	1
Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года	1
Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года	1
Основные итоги	1
A. Атомные и ядерные данные	4
B. Энергетические применения	5
B.1. Ядерная энергетика сегодня	5
B.2. Будущее развитие	9
B.2.1. Обновленные среднесрочные прогнозы	9
B.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата	11
B.2.3. Текущие вопросы	12
B.2.4. Ресурсы	16
B.2.5. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	17
C. Ядерные методы в продовольственной и сельскохозяйственной областях	19
C.1. Устойчивое землепользование и эффективность использования воды	19
C.2. Улучшение сельскохозяйственных культур	20
C.3. Защита сельскохозяйственных культур	22
C.4. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	23
C.5. Безопасность пищевых продуктов и безопасность продуктов растительного и животного происхождения	23
D. Здоровье человека	23
D.1. Питание	23
D.2. Ядерная медицина	24
D.3. Радиотерапия	25
D.4. Дозиметрия и медицинская радиационная физика	25
E. Водные ресурсы	27
F. Морская и земная среды	27
F.1. Морская среда	27
F.1.1. Определение загрязнителей в морепродуктах с помощью радиоиндикаторных методов	27
F.1.2. Изучение с помощью изотопных индикаторов явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)	28
F.1.3. Нарушения равновесия естественных радионуклидов позволяют отслеживать углеродные воронки в толще воды океанов	29
F.2. Земная среда	29
F.2.1. Радиоэкологические исследования	29
G. Применение исследовательских реакторов	30
H. Применение ускорителей	31
I. Контроль промышленных процессов	32
I.1. Радиационная обработка - нанотехнология	32

Обзор ядерных технологий - обновление 2005 года

Доклад Генерального директора

Основные итоги

1. В 2004 году отмечалось 50-летие производства электроэнергии на гражданских АЭС. Хотя нынешняя оценка перспектив использования ядерной энергии остается неоднозначной, имеются четкие признаки повышающихся ожиданий. Международное энергетическое агентство ОЭСР и МАГАТЭ скорректировали свои среднесрочные прогнозы развития ядерной энергетики в сторону повышения. МАГАТЭ сейчас прогнозирует достижение в 2030 году в мире установленной мощности ядерной энергетики 423-592 ГВт (эл.) против суммарной мощности 366 ГВт (эл.), которая прогнозировалась в конце 2004 года. Такое изменение прогноза обусловлено рекордными показателями ядерной энергетики, ростом энергетических потребностей во всем мире наряду с повышением цен на нефть и природный газ, новыми экологическими ограничениями, включая вступление в силу Киотского протокола, обеспокоенностью в отношении надежности энергоснабжения в ряде стран и амбициозными планами расширения в нескольких ключевых странах.

2. На Азию приходится 18 из 26 реакторов, находившихся в стадии строительства на конец года, и 20 из 30 реакторов, которые были подключены к энергосетям за последнее время. Работы по выемке грунта начались на площадке третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" в Финляндии, который будет первой «новостройкой» в Западной Европе начиная с 1991 года, и компания "Electricité de France" выбрала площадку в Фламанвиле для демонстрационного Европейского PWR, строительство которого, как ожидается, начнется в 2007 году. Комиссия по ядерному регулированию США одобрила продление еще 11 лицензий на период 20 лет каждая (таким образом, общий предусмотренный лицензией срок эксплуатации каждой АЭС составит 60 лет). В рамках программы «Ядерная энергетика-2010» министерство энергетики США совместно с двумя консорциумами инвесторов финансирует подготовку систем для испытания нового рационализованного процесса лицензирования.

3. Доля ядерной энергетики в глобальном производстве электроэнергии стабильно оставалась на уровне 16%, что указывает на то, что выработка электроэнергии на АЭС продолжает в течение восемнадцати лет подряд расти такими же темпами, как и общее глобальное потребление электроэнергии. Число подключенных к энергосети новых станций - пять - точно соответствует числу выведенных из эксплуатации станций, хотя суммарная мощность вновь введенных в строй станций составила 4785 МВт (эл.), а выведенных из эксплуатации – всего лишь 1385 МВт (эл.). Кроме того, одна законсервированная станция была вновь подключена к энергосети в Канаде. Однако в 2004 году было начато всего лишь два новых строительства, и в соответствии с осуществляемой политикой свертывания выработки

электроэнергии на АЭС в мае 2005 года были остановлены реактор АЭС “Обригхайм” в Германии и второй энергоблок АЭС “Барсебек” в Швеции.

4. Цены на уран, которые были низкими и стабильными в течение предыдущих полутора десятков лет, продолжали расти — с 25 долл./кг в 2002 году до 75 долл./кг на 29 июня 2005 года. Уровень производства урана был значительно ниже уровня потребления в течение приблизительно 15 лет, и нынешний рост цен отражает растущее понимание того, что вторичные источники, которые покрывали имевшуюся разность, истощаются.

5. По состоянию на конец 2004 года шесть АЭС были полностью сняты с эксплуатации, и их площадки были освобождены для использования без ограничений. Семнадцать станций были частично демонтированы и безопасно законсервированы, 33 демонтируются перед конечной передачей площадки в пользование, и 30 — в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией. В некоторых странах была введена новая категория радиоактивных отходов — очень низкоактивные отходы (ОНАО) — для отходов очень низкой радиоактивности, образующихся при снятии с эксплуатации, которые требуют меньшего объема специальной обработки, чем традиционные отходы низкой активности, и, таким образом, характеризуются намного более низкой стоимостью захоронения. Пункт захоронения ОНАО, открытый в 2003 году в Морвильере, Франция, в 2004 году достиг полной эксплуатационной мощности.

6. Наибольший прогресс на установках по захоронению достигнут в США, Финляндии и Швеции. В Финляндии в 2004 году начались строительные работы по сооружению подземной лаборатории для определения характеристик для пункта окончательного захоронения в Олкилуото. В быстром темпе наряду с проведением общественных консультаций осуществляются детальные геологические исследования, которые были начаты в Швеции в 2002 году на двух площадках-кандидатах. Хорошо продвинулась подготовительная работа в США по подаче заявки на получение лицензии.

7. Национальные исследования по усовершенствованным конструкциям реакторов продолжают 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 по международному сотрудничеству 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 23. В рамках этого проекта была завершена серия предметных исследований по проверке разработанной методологии оценки, и в декабре был опубликован заключительный доклад по обновленной методологии ИНПРО.

8. Реализация Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) приблизилась после того, как стороны ИТЭР — Европейский союз, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, США и Япония — объявили 28 июня 2005 года о том, что площадка будет находиться в Кадараше, Франция. Цель ИТЭР состоит в том, чтобы продемонстрировать научно-техническую осуществимость термоядерной энергетики путем постройки действующей термоядерной электростанции. Потребуется приблизительно 8 лет для того, чтобы построить ИТЭР, и затем он будет работать в течение последующих двадцати лет. Это будет первая установка в мире, в которой управляемая термоядерная реакция будет давать по меньшей мере в 5 раз больше энергии, чем она потребляет. ИТЭР откроет новые горизонты для ядерной науки и технологий в энергетических применениях, при этом побочные результаты ожидаются во многих других областях.

9. События, связанные с ядерными технологиями, развиваются быстро и охватывают множество областей применения. Не все они могут быть рассмотрены в данном обновленном обзоре, однако некоторые ключевые направления и тенденции рассматриваются в случаях, когда они представляются вызывающими значительный интерес у государств - членом МАГАТЭ, а также имеют отношение к Целям развития в новом тысячелетии и решению проблем WENAB (водные ресурсы, энергетика, здравоохранение, сельское хозяйство и биоразнообразие), определенных на Иоганнесбургской Всемирной встрече на высшем уровне по устойчивому развитию в 2002 году, и играют определенную роль в их достижении.

10. В условиях, когда на сельское хозяйство приходится 70% глобального водопользования, применение комплексов стабильных изотопов для оценки эффективности использования воды в широком диапазоне систем земледелия и ирригации, включая, например, исследования влияния графиков орошения на эффективность использования удобрений, приносит двойную пользу в смысле обеспечения как продовольствием, так и водой. Селекция посредством индуцирования мутаций в целях выявления лучших сортов сельскохозяйственных культур, которые характеризуются высокой эффективностью использования воды и способны адаптироваться к росту в суровых условиях окружающей среды, вносит вклад в повышение эффективности использования скудных водных ресурсов. В управлении водными ресурсами также все большее внимание уделяется управлению трансграничными водоносными горизонтами с использованием изотопных методов для определения динамики перемещения воды, возраста воды и выявления источников загрязнения.

11. В области охраны здоровья человека короткоживущие радионуклиды помогают клиницистам изучать метаболические процессы. Одним из наиболее быстро развивающихся методов является позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), использующая ультракороткоживущие радиоизотопы, присоединенные к биологическим маркерам, которая при ее интегрировании с рентгеновскими компьютерными изображениями обеспечивает еще более мощный инструмент для мониторинга здоровья и диагностики. Новые задачи решаются в радиотерапии с внедрением методов управляемой по изображениям объектов радиотерапии, которые способны обеспечивать отслеживание и поддержание точности пучка с учетом изменений, происходящих в опухоли, и позиции пациента.

12. В области морской среды ожидается достижение нового понимания изменения климата в результате проведения исследований явления Эль-Ниньо - Южного колебания с использованием изотопных методов. Растет признание способности океанов абсорбировать диоксид углерода и, таким образом, оказывать влияние на климат. Исследования с использованием тория-234, естественным образом получающимся из урана-238 в морской воде, помогают океанографам лучше понять роль океанов в этом вопросе. Пониманию радиоэкологии земной среды также помогает использование ядерных контрольно-измерительных приборов, например, в дистанционном зондировании с применением аэрогаммасъемки.

13. Исследовательские реакторы и ускорители находят все новые и новые сферы применения. Радиоизотопы, произведенные на исследовательском реакторе, широко используются в медицине и промышленности, и нейтронные пучки исследовательских реакторов являются мощным средством исследований в целом ряде применений, в которых используются методы рассеяния нейтронов и нейтронной радиографии. Представляется перспективным применение ядерных методов на базе ускорителей при разработке новых материалов, а в методах датирования при помощи углерода-14, исследованиях лекарственных препаратов и мониторинге окружающей среды проявляется интерес к использованию ускорительной масс-спектрометрии.

А. Атомные и ядерные данные

14. Атомные и ядерные данные по-прежнему обеспечивают важнейшую основу для планирования и проектирования реакторов, для эксплуатации станций и повышения безопасности, а также для облегчения работ по снятию ядерных установок с эксплуатации. Важные события технологического характера включают услуги для клиентов ядерных баз данных МАГАТЭ и подготовку более качественных баз атомных данных и баз данных по ядерной физике. Остаются чрезвычайно плодотворными связи с другими основными центрами сети данных, такими, как Национальный центр ядерных данных Соединенных Штатов (НЦЯД) и Агентство по ядерной энергии (АЯЭ). Существенным фактором, способствующим обеспечению готовности удовлетворять международные потребности в легком, надежном, независимом от применяемой платформы доступе к качественным ядерным данным, является развитие Интернета и средств информационной технологии.

15. Предполагается, что существенные выгоды были получены в результате перевода баз ядерных данных и услуг МАГАТЭ на другие коммуникационные платформы. Эти совместные усилия, предпринятые в сотрудничестве с НЦЯД, позволили в середине 2004 года завершить первый масштабный этап. Были испытаны и установлены современные аппаратные средства и программное обеспечение, что позволило принять новые и более перспективные подходы к модернизации и привело к разработке системы ядерных данных, работающей на множестве платформ и обеспечивающей более высокий уровень доступности и надежности для конечных пользователей. Были определены направления дальнейших усовершенствований, и они предложены для реализации в 2005 году.

16. Постоянный прогресс в деле компиляции и оценки атомных и молекулярных данных служит поддержкой не только проекту по Международному термоядерному экспериментальному реактору (ИТЭР), но и другим исследованиям и технологическим поискам в сфере инерционного удержания плазмы. Масштабы более тесного сотрудничества и анализа потребностей в данных, используемых в исследованиях в области термоядерного синтеза требуют глобального внимания.

17. Расширяется применение излучений в медицине, и надежные данные как для планирования эффективного, безопасного лечения, так и для оптимального проектирования самих установок имеют критически важное значение для обеспечения рентабельности и широкой доступности таких применений. Хорошее знание этих данных необходимо для оптимального производства таких радиоизотопов, как фтор-18, стронций-82 и иод-123 с требуемой чистотой, обеспечивающей их безопасное применение в медицине. Заболеваемость раком и прогнозируемое и вызывающее тревогу повышение масштабов заболеваемости, которое ожидается в предстоящие годы, требуют объединенных усилий и стратегий борьбы с этим заболеванием, и радиационные онкологи и медицинские физики ощущают острую потребность в надлежащих вспомогательных атомных и ядерных данных, которые могли бы содействовать продвижению многообещающих методов лечения.

В. Энергетические применения

В.1. Ядерная энергетика сегодня¹

18. На конец 2004 года во всем мире было 440 действующих атомных энергоблоков. В течение года на долю ядерной энергетики приходилось 16% мирового производства электроэнергии. Эта доля остается в целом неизменной с 1986 года, указывая на то, что в течение 18 лет ядерная энергетика росла теми же темпами, что и вся глобальная энергетика.

19. Глобальный коэффициент эксплуатационной готовности АЭС с 81% в 2003 году возрос приблизительно до 83% в 2004 году. Для сравнения десять лет тому назад в 1994 году глобальный коэффициент эксплуатационной готовности АЭС был равен 76%.

20. В таблица В-1 приводится сводка состояния ядерной энергетики во всем мире на 31 декабря 2004 года.

21. В 2004 году к энергосети было подключено пять новых АЭС (две в Украине и по одной в Китае, Российской Федерации и Японии), и одна станция была выведена из стояночного режима и вновь подключена к сети в Канаде. Для сравнения можно отметить, что в 2003 году имело место два новых подключения к энергосети (а в Канаде два повторных подключения) и в 2002 году - шесть новых подключений.

22. Пять АЭС были выведены из эксплуатации в 2004 году - четыре энергоблока мощностью 50 МВт (эл.) в Соединенном Королевстве и первый энергоблок Игналинской АЭС мощностью 1185 МВт (эл.) в Литве. Для сравнения в 2003 году было снято с эксплуатации шесть станций, а в 2002 году - четыре.

23. Если пользоваться определением Агентства, согласно которому сооружение начинается с первой заливки бетона, то можно сказать, что в 2004 году началось строительство двух АЭС - прототипного реактора-размножителя на быстрых нейтронах мощностью 500 МВт (эл.) в Индии и третьего энергоблока - реактора PWR мощностью 866 МВт (эл.) АЭС «Томари» в Японии. Кроме того, возобновлены активные строительные работы на двух АЭС в Российской Федерации - четвертом энергоблоке Калининской АЭС и пятом энергоблоке Балаковской АЭС, которые ранее классифицировались как 'остановленное строительство'. Вместе с тем в Финляндии началась подготовка площадки для третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" мощностью 1600 МВт (эл.). В 2003 году было начато сооружение одной станции, а в 2002 году - семи.

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/Anrep2004/index.html>) 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>).

24. Расширение мощностей в настоящее время, а также в ближайшем будущем и долгосрочные перспективы роста характерны для Азии. Как видно из таблицы В-1, из 26 реакторов, сооружавшихся во всем мире², на конец 2004 года 17 находились в Китае, Республике Корея, Японии или Индии. Двадцать из последних 30 реакторов, которые были подключены к энергосетям, находились на Дальнем Востоке и в Южной Азии.

25. В Азии наибольшей мощностью располагает Япония: здесь эксплуатируются 54 реактора и еще три - в процессе сооружения. К концу 2004 года компания «ТЕРСО» возобновила эксплуатацию 16 из 17 реакторов, остановленных в 2002 году. В результате этого в 2004 году доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии Японии повысилась до 29,3%, как указано в таблице В-1, с 25% в 2003 году, однако она все еще ниже 34%, которые были в 2002 и 2001 годах.

26. В Республике Корея при 19 действующих реакторах и одном в процессе сооружения, в 2004 году на долю ядерной энергетики приходилось 38% общей выработки электроэнергии.

² Общая цифра включает также Тайвань, Китай.

Таблица В-1. Ядерные энергетические реакторы в эксплуатации и в стадии строительства в мире (по состоянию на 31 декабря 2004 года)^а

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии сооружения		Электроэнергия АЭС, поставленная в 2004 году		Суммарный опыт эксплуатации	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	7,3	8,2	52	7
АРМЕНИЯ	1	376			2,2	38,8	37	3
БЕЛЬГИЯ	7	5 801			44,9	55,1	198	7
БОЛГАРИЯ	4	2 722			15,6	41,6	133	2
БРАЗИЛИЯ	2	1 901			11,5	3,0	27	2
ВЕНГРИЯ	4	1 755			11,2	33,8	78	2
ГЕРМАНИЯ	18	20 679			158,4	31,8	666	0
ИНДИЯ	14	2 550	9	4 092	15,0	2,8	237	5
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА			1	915				
ИСПАНИЯ	9	7 585			60,9	22,9	228	2
КАНАДА	17	12 113			85,3	15,0	509	7
КИТАЙ	9	6 602	2	2 000	47,8	2,2	47	11
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	19	15 850	1	960	124,0	38,0	239	8
ЛИТВА	1	1 185			13,9	72,1	38	6
МЕКСИКА	2	1 310			10,6	5,2	25	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	449			3,6	3,8	60	0
ПАКИСТАН	2	425			1,9	2,4	37	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	4	3 775	133,0	15,6	791	5
РУМЫНИЯ	1	655	1	655	5,1	10,1	8	6
СЛОВАКИЯ	6	2 442			15,6	55,2	106	6
СЛОВЕНИЯ	1	656			5,2	38,9	23	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	23	11 852			73,7	19,4	1 354	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	99 210			788,6	20,0	2 975	8
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	81,1	51,1	293	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 656			21,8	26,6	103	4
ФРАНЦИЯ	59	63 363			426,8	78,1	1 405	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 548			26,3	31,2	80	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			25,4	40,0	148	10
ШВЕЦИЯ	11	9 469			75,0	51,8	322	1
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			14,3	6,6	40	3
ЯПОНИЯ	54	45 468	3	3 237	273,8	29,3	1 176	4
Всего ^б	440	366 311	26	20 826	2618,6	16%	11 588	6

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

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

— 6 энергоблоков - 4884 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока - 2600 МВт (эл.) в процессе сооружения;

— 37,9 ТВт·ч выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 20,9% суммарной электроэнергии, произведенной в 2004 году;

— 140 лет и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации.

27. В других странах Азии абсолютный и относительный вклад ядерной энергетики меньше, но Китай и, в частности, Индия планируют ее существенное расширение. Индия, располагая 14 действующими реакторами, в конце 2004 года получала 2,8% своей электроэнергии за счет ядерной энергетики. Вместе с тем в процессе сооружения находились еще девять реакторов, включая прототипный реактор-размножитель на быстрых нейтронах мощностью 500 МВт (эл.), строительство которого было начато в 2004 году в Калпаккаме, и цель, поставленная Индией сегодня, состоит в том, чтобы к 2050 году обеспечить долю ядерной энергетики в общем производстве электроэнергии на уровне 25%.

28. В Китае, где в конце 2004 года было девять действующих реакторов, два реактора находились в процессе сооружения и на долю ядерной энергетики приходилось 2,2% производства электроэнергии, планируется к 2020 году увеличить мощность АЭС до 32-40 ГВт (эл.) при доле ядерной энергетики на уровне 4-5% от общего производства электроэнергии. В 2004 году Госсовет Китая, помимо уже сооружаемых станций, официально одобрил строительство новых АЭС мощностью не менее 7 ГВт (эл.).

29. С подключением к энергосети в декабре 2004 года третьего энергоблока Калининской АЭС и возобновлением активных строительных работ на четвертом энергоблоке Калининской АЭС и пятом энергоблоке Балаковской АЭС в Российской Федерации 31 реактор был в эксплуатации по состоянию на конец года и еще 4 реактора находились в стадии строительства. В Украине с подключением к энергосети второго энергоблока Хмельницкой АЭС и четвертого энергоблока Ровенской АЭС было 15 реакторов в эксплуатации и 2 реактора в стадии строительства. Единственное другое строительство, которое в настоящее время ведется в Восточной Европе, - это сооружение второго энергоблока АЭС "Чернаводэ" в Румынии. Как говорилось выше, в конце 2004 года с эксплуатации был снят первый энергоблок Игналинской АЭС в Литве.

30. В конце 2004 года в Западной Европе имелось 137 АЭС по сравнению со 148 в 2001 году, что явилось результатом, главным образом, снятия с эксплуатации десяти маломощных блоков в Соединенном Королевстве, построенных в 1950-х и 1960-х годах (восемь блоков по 50 МВт (эл.) и два блока по 123 МВт (эл.)). В настоящее время никаких работ по сооружению АЭС в Западной Европе не ведется, но в 2004 году была начата выемка грунта для третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" в Финляндии. Кроме того, после принятия французским парламентом необходимого законодательства компания «Electricité de France» выбрала площадку для сооружения демонстрационного европейского реактора с водой под давлением (EPR), которое должно начаться в 2007 году. Эти две станции будут иметь первые построенные EPR. В отношении стареющих АЭС, построенных в 1970-е и 1980-е годы, Франция встала на путь "замены ядерного ядерным". Что касается Соединенного Королевства, то в Белой книге по энергетической политике 2003 года никаких новых АЭС не предлагается, что связывается с затратами на них и нерешенными вопросами утилизации отходов, но ядерный вариант остается открытым на тот случай, если в какой-то момент потребуются новые ядерные мощности.

31. В Соединенных Штатах Америки Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) одобрила продление еще одиннадцати лицензий на период по 20 лет каждая (таким образом, общий предусмотренный лицензией срок эксплуатации каждой АЭС составит 60 лет), и в результате общее количество одобренных продлений лицензий к концу года насчитывало 30. Приблизительно три четверти из 104 АЭС в США либо получили такое продление лицензии, либо подали заявку на него, либо заявили о своем намерении подать такую заявку. Министерство энергетики США (МЭ) одобрило финансовую помощь двум промышленным консорциумам для реализации демонстрационных проектов по лицензированию АЭС с использованием новой комбинированной лицензии (КОЛ) КЯР. Такая помощь является частью

программы "Ядерная энергетика – 2010" США, которой предусматривается введение к 2010 году в эксплуатацию новых мощностей АЭС.

32. В Канаде увеличение в ближайшей перспективе выработки электроэнергии будет происходить за счет возобновления эксплуатации некоторых или всех восьми энергоблоков АЭС (из общего количества 22 в Канаде), которые были закрыты в последние годы. Первые два таких возобновления эксплуатации состоялись в 2003 году. Третье возобновление эксплуатации третьего энергоблока АЭС "Брюс А" было осуществлено в 2004 году, и компетентные органы провинции Онтарио одобрили план компании «Ontario Power Generation» возобновить эксплуатацию первого энергоблока АЭС "Пиккеринг А".

33. В Латинской Америке имеются по две действующие АЭС в Аргентине, Бразилии и Мексике, и сооружение еще одной станции ведется в Аргентине.

34. В Южной Африке имеются две действующие станции.

В.2. Будущее развитие

В.2.1. Обновленные среднесрочные прогнозы³

35. Каждый год МАГАТЭ публикует обновленные среднесрочные прогнозы развития ядерной энергетики. На рис. В-1 показаны обновленные данные за 2004 год вместе с обновленным справочным сценарием *Мирового энергетического обзора – 2004* Международного энергетического агентства ОЭСР (МЭА). На этой диаграмме левый столбик в каждой тройке – это низкий прогноз МАГАТЭ, который предполагает, что никакие новые АЭС, помимо тех, которые находятся в процессе сооружения или на сегодня твердо запланированы, строиться не будут и старые АЭС будут сниматься с эксплуатации в установленные сроки. Низкий прогноз обозначен буквой "L" и показывает разбивку производства электроэнергии на АЭС по региону.

36. Средний столбик в каждой тройке – это высокий прогноз МАГАТЭ, который включает новые запланированные и предложенные полноценные ядерные проекты, помимо тех, которые уже практически реализуются. Столбики высокого прогноза обозначены буквой "H" и также показывают разбивку по региону.

37. Для сравнения столбик справа в каждой тройке показывает обновленный сценарий *Мирового энергетического обзора - 2004* МЭА. Справочный сценарий МЭА, который обновляется раз в два года, является хорошо известной и часто используемой точкой отсчета в международных обсуждениях энергетической политики и рынков. В целом он основывается на том же подходе, что и низкий прогноз МАГАТЭ. Наибольшие количественные различия между этими двумя прогнозами на рис. В-1 относятся к более низким прогнозам МЭА для Восточной Европы.

³ Более подробная информация о последних прогнозах МАГАТЭ имеется на сайте <http://nesisda2/rds-1/>. Недавно проведенная и текущая работа МАГАТЭ по сбору данных и экспертным оценкам для среднесрочных прогнозов описана в последнем выпуске Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/>.

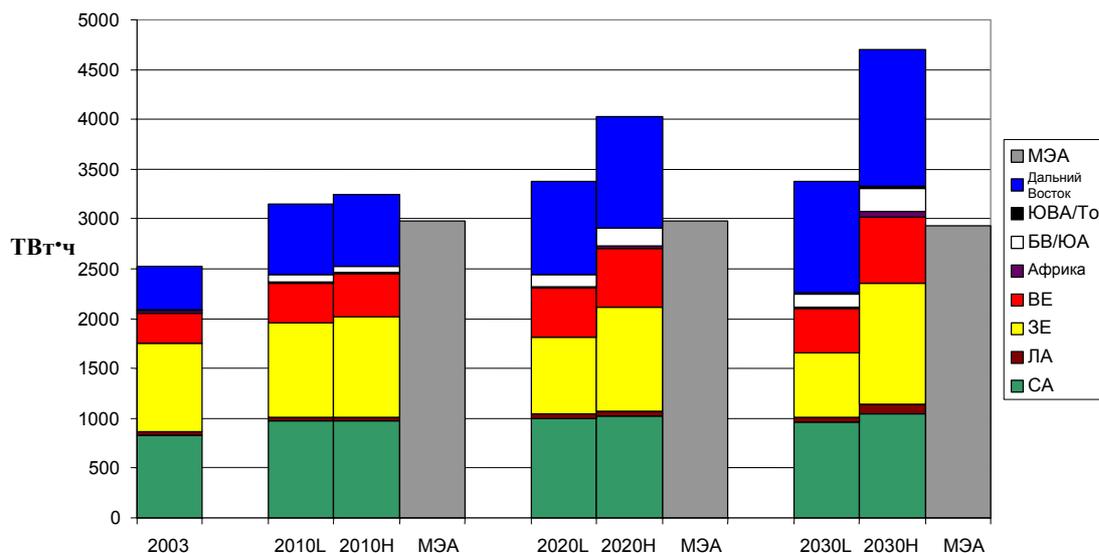


Рис. В-1. Глобальное производство электроэнергии на основе ядерной энергетики в 2003 году, а также по трем прогнозам до 2030 года (СА - Северная Америка; ЛА - Латинская Америка; ЗЕ - Западная Европа; ВЕ - Восточная Европа; БВ/ЮА - Ближний Восток/Южная Азия; ЮВА/То - Юго-Восточная Азия/Тихий океан).

38. Согласно низкому прогнозу МАГАТЭ производство ядерной энергии в 2030 году составит 3379 ТВт·ч или на 34% больше, чем в 2003 году. Особо обращает на себя внимание то обстоятельство, что низкие прогнозы МАГАТЭ ежегодно начиная с 2000 года пересматривались в сторону увеличения. Показанный на рис. В-1 уровень 2020 года - 3378 ТВт·ч - на 60% выше прогноза МАГАТЭ на 2020 год, составленного в 2000 году. (Прогнозы МАГАТЭ в 2000 году составлялись только до 2020 года.)

39. Высокий прогноз МАГАТЭ предусматривает увеличение на 86% производства электроэнергии на базе ядерной энергетики в период с 2003 по 2030 год. Изменения от года к году высоких прогнозов были менее значительными, и они имели менее последовательную структуру. В целом динамика прогнозов вполне соответствует отрасли, имеющей довольно хорошие перспективы, но драматичного роста в ней не наблюдается. Список рациональных среднесрочных проектов, на которых базируется высокий прогноз, довольно устойчив, и ежегодно все больше таких проектов из категории многообещающих перспектив перемещаются в число фактически осуществляемых проектов.

40. На рис. В-1 видны существенные различия между разными регионами мира. Как отмечалось ранее, расширение сосредоточено на Дальнем Востоке, где по всем прогнозам ожидается наибольший рост. Как по высокому, так и по низкому прогнозу МАГАТЭ существенный рост ожидается в Восточной Европе, но в Северной Америке ожидается весьма скромный рост. В Западной Европе низкий прогноз обещает сокращение, поскольку снятие АЭС с эксплуатации опережает строительство новых, но согласно высокому прогнозу ожидается существенное расширение. Оба прогноза МАГАТЭ предусматривают для Ближнего Востока и Южной Азии высокие темпы роста, хотя динамика роста в этом регионе имеет небольшую исходную базу 2003 года.

41. На рис. В-1 не показана разбивка по регионам для справочного сценария МЭА, в котором используются несколько иные, чем в МАГАТЭ, регионы, вместе с тем основополагающая структура в значительной степени та же, что и в низком прогнозе МАГАТЭ — расширение на Дальнем Востоке и в Южной Азии, сокращение в Западной Европе и стабильное положение в Северной Америке.

В.2.2. Устойчивое развитие и изменение климата⁴

42. В более отдаленной перспективе будущее ядерной энергетики будет зависеть, в частности, от того, насколько хорошо она содействует удовлетворению растущих глобальных энергетических потребностей и уменьшает экологические проблемы, сопутствующие использованию энергии. Что касается роста глобальных энергетических потребностей, то в 2004 году никаких существенных международных обсуждений по энергетическим потребностям для устойчивого развития не велось. В следующий раз вопросы энергии Комиссия ООН по устойчивому развитию будет рассматривать на своих четырнадцатой и пятнадцатой сессиях в 2006 и 2007 годах.

43. В сфере охраны окружающей среды большим событием глобального значения в 2004 году была ратификация в ноябре месяце Российской Федерацией Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. В результате на долю стран, включенных в приложение I⁵, которые ратифицировали Протокол, в совокупности стало приходиться более 55% уровня выбросов двуокиси углерода стран, включенных в приложение I 1990 года, и по прошествии 90 дней Протокол вступил в силу 16 февраля 2005 года.

44. По всей вероятности, вступление Киотского протокола в силу окажет незначительное непосредственное воздействие на расширение ядерной энергетики. Протокол охватывает только первый период обязательств - 2008–2012 годы, и разные страны приняли различную политику в целях соблюдения своих пределов в соответствии с Киотским протоколом. Несмотря на то, что с ядерной энергетикой сопряжены очень низкие уровни выбросов парниковых газов (ПГ), лишь 2-6 граммов углерода на киловатт-час в расчете на всю ядерную топливную цепочку - показатель приблизительно такой же, как и в случае энергии ветра и солнечной энергии - не всегда предпочтение в принимаемой политике отдается ядерной энергетике. Однако в более отдаленной перспективе ожидается, что прогресс в сторону "углеродно-ограниченной" экономики обеспечит рост привлекательности ядерной энергетики. В прошлом ее преимущество, заключающееся в минимальных выбросах ПГ, инвесторами не замечалось, поскольку отсутствие ограничений или налогов на выбросы ПГ означало, что их предотвращение не имело никакой экономической ценности. В настоящее время Киотский протокол – это единственный действенный способ добиться широко распространенных, скоординированных ограничений на выбросы ПГ, и, таким образом, он является важным шагом на пути к наполнению реальной экономической стоимостью мер по предотвращению выбросов ПГ благодаря использованию ядерной энергетики.

⁴ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ 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/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml>.

⁵ Страны, включенные в приложение I, - это страны ОЭСР на 1992 год плюс страны, которые в тот период имели переходную экономику.

В.2.3. Текущие вопросы

Экономика

45. Хорошо управляемые действующие АЭС по-прежнему являются в целом конкурентоспособными и выгодными источниками электроэнергии, о чем свидетельствуют сохраняющиеся темпы продления лицензий в США и в других странах, хотя за пределами США продления лицензий осуществляются, как правило, на более короткий срок и чаще или же принимают форму "возобновляемого продления".

46. Что касается нового строительства, то конкурентоспособность ядерной энергетики зависит, в частности, от затрат на альтернативные варианты, с которыми она должна конкурировать, перспектив инвесторов и рынков энергии и электроэнергии, на которых ей предстоит функционировать. Как видно из таблицы В-2, недавние оценки затрат, связанных с новыми АЭС и их основными конкурентами, имеют пределы, которые отражают различные технологии, ситуации с национальными ресурсами и перспективы инвесторов. Таблица В-2 охватывает две недавно проведенные оценки, отражающие современный опыт. По оценкам Atomic Energy of Canada Limited, затраты на завершение строительства первого и второго энергоблоков третьей очереди АЭС "Циньшань" в провинции Чжэцзян, Китай, составляют 1500 долл. на кВт (эл.) (или на основе валютного курса, используемого в таблице В-2, 1163 евро на кВт (эл.)), и издержки, указанные в отношении реактора EPR третьего энергоблока АЭС "Олкилуото" составляют 1920 евро на кВт (эл.).

47. В 2004 году на рынках электроэнергии наблюдались две важные тенденции: к росту либерализации и более строгим ограничениям в отношении выбросов ПГ. Например, в 2004 году рынок электроэнергии 15 государств - членов Европейского союза (до расширения ЕС в 2004 году) был полностью открыт для клиентов вне индивидуального частного сектора, и в Японии в течение 2004 года было открыто 40% общего энергетического рынка (в 2005 году эта цифра должна возрасти до 60%). Кроме того, директивой ЕС, изданной в октябре 2003 года, в Европейском союзе была установлена Схема торговли выбросами в отношении выбросов двуокси углерода, которая была введена в действие 1 января 2005 года, и в течение 2004 года были разработаны планы национального распределения (ПНР), с тем чтобы установить первоначальные квоты выбросов для установок. На конец года Европейская комиссия (ЕК) завершила оценки 21 ПНР. Она безоговорочно одобрила 15 ПНР, условно одобрила еще 3, и 'частично отклонила' остальные 3.

Таблица В-2. Сравнительные оценки затрат на основе недавно проведенных исследований

	МТИ ^а	Чикагский университет ^б	Королевская инженерная академия ^с	ГДЭСМ Франция ^д	МЭТП Япония ^е	КЭИИ Канада ^ф	АЯЭ/МЭА ^г
Нормированные издержки ^h	евроцентмы/ кВт·ч ^и	евроцентмы/ кВт·ч	евроцентмы/ кВт·ч	евроцентмы/ кВт·ч	евроцентмы/ кВт·ч	евроцентмы/ кВт·ч	евроцентмы/ кВт·ч
ядерная энергия	5,2	3,2-5,5	3,3	2,8	3,8	3,4-5,8	1,6-5,3
уголь	3,3	2,6-3,2	3,6-5,0	3,2-3,4	4,1	3,1-3,8	1,2-5,3
природный газ	2,9-4,3	2,7-3,5	3,1-4,0	3,5	4,5	4,7-4,9	2,9-5,0
нефть					7,8		
гидроэнергетика							3,1-18,8
отходы птицеводства			9,7				
ветроэнергетические установки наземного базирования			5,3-7,7				2,4-11,2
ветроэнергетические установки морского базирования			7,9-10,3				4,0-9,5
энергия волн/приливов			9,4				
солнечная энергия и ФЭС							9,4-145,4
Единоразовые издержки ^j	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)	евро/ кВт (эл.)
ядерная энергия	1550	930-1395	1642	1413	2026	1525-1931	832-1945
уголь	1008	916-1132	1042-1171	1000-1100	1975	1040	557-1819
природный газ	388	388-543	428	505	1191	462	329-1001
нефть					1953		
гидроэнергетика							1194-5413
отходы птицеводства			2628				
ветроэнергетические установки наземного базирования			1057				756-1266
ветроэнергетические установки морского базирования			1314				1269-2032
энергия волн/приливов			1999				
солнечная энергия и ФЭС							2606-7877

- a. Массачусетский технологический институт, *The Future of Nuclear Power*, The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA (2003)
- b. Чикагский университет, *The Economic Future of Nuclear Power*, The University of Chicago, Chicago, Illinois, USA (2004)
- c. Королевская инженерная академия, *The Cost of Generating Electricity*, London, UK (2004)
- d. Генеральный директорат по энергетике и сырьевым материалам (ГДЭСМ), French Ministry of the Economy, Finance and Industry, Paris, France (2003)
- e. Министерство экономики, торговли и промышленности, Токио, Япония (2004 год)
- f. 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, Альберта, Канада, 2004 год
- g. Агентство по ядерной энергии и Международное энергетическое агентство, *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, Организация экономического сотрудничества и развития, Париж, 2005 год
- h. Нормированные издержки на производство электроэнергии – это цена электроэнергии на шинах станции, необходимая для покрытия эксплуатационных и капитальных затрат электростанции в годовом исчислении.
- i. Используемые в различных исследованиях национальные валюты конвертированы в евро на основе валютных курсов на 11 ноября 2004 года.
- j. Единоразовые издержки – это сумма, которую необходимо выплатить, если капитальные затраты были произведены одновременно. Без начисляемых процентов.

Безопасность⁶

48. Международный обмен эксплуатационным опытом АЭС и, в частности, широкое распространение "извлеченных уроков" – это важные составляющие поддержания и укрепления безопасной эксплуатации АЭС. Сбор сведений об эксплуатационном опыте, обмен им и его анализ - все это жизненно важные элементы управления безопасностью, и эмпирическим путем недвусмысленно доказано, что изучение эксплуатационного опыта АЭС приводило и продолжает приводить к повышению безопасности станций. Одной из составляющих этого глобального процесса обмена являются регулярные совещания совместной Информационной системы по инцидентам МАГАТЭ/АЯЭ, где обсуждаются и подробно анализируются недавние инциденты.

49. Благодаря такому обмену информацией и анализу, в частности, общие показатели безопасности ядерной отрасли продолжают повышаться. Статистика Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих АЭС, за 2003 год указывает на стабильно низкое число незапланированных автоматических остановов на уровне одной трети от числа, зарегистрированного в начале 1990-х годов, и на продолжающееся уменьшение уже низкого числа промышленных аварий.

50. Более детальная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности* МАГАТЭ.

Снятие с эксплуатации, отработавшее топливо и отходы⁷

51. В снятии с эксплуатации сохраняется тенденция к немедленному демонтажу. В США одна из причин состоит в стремлении использовать имеющиеся площадки для захоронения отходов пока эти площадки еще открыты и до того, как возрастут затраты. АЭС, на которых процесс вывода из эксплуатации завершается, включают АЭС "Янки Роу" и "Мэн Янки" (на обеих станциях снятие с эксплуатации завершено на 90% на конец 2004 года, и "неограниченное высвобождение" запланировано на 2005 год), АЭС "Биг Рок Пойнт" (завершено на 85%, и неограниченное высвобождение также запланировано на 2005 год), АЭС "Троян" (завершено на 95%, прекращение лицензии запланировано на 2005 год) и АЭС "Коннектикут Янки" (неограниченное высвобождение запланировано на 2007 год). Исключения из стратегии немедленного демонтажа составляют, главным образом, площадки, на которых размещаются несколько блоков, где демонтаж планируется на период окончания сроков службы всех блоков.

52. Даже там, где стратегии схожи, причины часто различаются в зависимости от конкретных ситуаций, в которых находятся АЭС. Например, в Германии, где предпочтительным подходом, по-видимому, также является немедленный демонтаж, крупный проект по немедленному демонтажу на площадке "Грайфсвальд" в восточной Германии (в эксплуатации находятся первоначальные пять реакторов, один в предэксплуатационном состоянии и два в процессе сооружения) весьма способствовал сохранению ключевого персонала и повторному найму очень большого числа эксплуатационных работников.

⁶ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ, касающейся ядерной безопасности, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ <http://www-ns.iaea.org/>.

⁷ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ, касающейся снятия с эксплуатации, отработавшего топлива и отходов, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html> и <http://www-ns.iaea.org/home/rtws.asp>.

53. Важное недавнее событие – это введение в некоторых странах новой категории радиоактивных отходов — очень низкоактивных отходов (ОНАО). В 2003 году в Морвильере, Франция, был открыт пункт захоронения ОНАО, и в 2004 году он достиг полной производственной мощности. Испания также рассматривает вопрос о хранилище ОНАО. Категория ОНАО предназначена для включения в нее большей части отходов, образующихся в процессе снятия с эксплуатации, при затратах на захоронение намного ниже, чем затраты на захоронение традиционных низкоактивных отходов.

54. Что касается отработавшего топлива, то его запасы продолжают расти. Вместе с тем отработавшее топливо в течение многих десятилетий благополучно хранится в приреакторных и промежуточных хранилищах, и при некотором небольшом расширении хранилищ за счет этих приреакторных и промежуточных хранилищ можно обеспечить необходимое хранение в течение многих лет.

55. Что касается высокоактивных отходов, то наибольший прогресс на установках по захоронению достигнут в США, Финляндии и Швеции. В Финляндии в 2004 году начались строительные работы по сооружению подземной лаборатории в Олкилуото, которая будет использоваться для составления характеристик местной геологии и на более позднем этапе может быть включена в установку для окончательного захоронения. Строительство хранилища должно начаться в 2011 году, и эксплуатация – в 2020 году. Швеция начала проведение детальных геологических исследований на двух площадках-кандидатах. Шведская компания “SKB”, занимающаяся обращением с ядерным топливом и отходами, надеется представить окончательное предложение в отношении площадки примерно к 2008 году. В США на экспериментальную установку по изоляции отходов в Нью-Мексико в марте 1999 года для окончательного захоронения начали поступать военные трансурановые отходы, и в 2002 году правительство США приняло решение продолжить сооружение площадки для захоронения “Юкка-Маунтин”. Эксплуатацию хранилища “Юкка-Маунтин” планируется начать в 2010 году. Значительным событием в 2004 году явилось постановление суда о том, что регулирующие положения, разработанные для этой площадки Агентством по охране окружающей среды, являются менее строгими, чем требуется по закону. Если это решение останется в силе, то это, по всей вероятности, потребует изменений либо в проекте установки, либо в законе.

56. Канадский Закон об отходах ядерного топлива 2002 года устанавливает для Организации по обращению с ядерными отходами (ООЯО) Канады конечный срок - ноябрь 2005 года, когда она должна рекомендовать подход к обращению с отработавшим ядерным топливом. В мае 2005 года ООЯО опубликовала проект рекомендаций для замечаний и рассмотрения, в которых предлагается ‘адаптивный поэтапный’ подход с тремя фазами. Сначала будет хранение на площадке отработавшего топлива в реакторах в течение приблизительно 30 лет. За это время будет выбрана площадка для централизованного пункта захоронения, а также будет построена подземная исследовательская лаборатория. Второй этап также продлится приблизительно 30 лет. В течение этого этапа, в зависимости от “общественного мнения”, отработавшее топливо может быть перемещено на центральную площадку для промежуточного хранения. На третьем этапе отработавшее топливо будет помещаться в пункт захоронения. Будущие поколения будут решать на этом третьем этапе вопрос о том, нужно ли и когда следует закрывать пункт захоронения, а также какой мониторинг на этапе после закрытия будет требоваться.

Ядерная технология и нераспространение ядерного оружия⁸

57. Несколько событий, произошедших в 2003 и 2004 годах, укрепили международное понимание риска распространения ядерного оружия, связанного с чувствительными частями ядерного топливного цикла. Обнаружение ряда случаев незаявленной деятельности по обогащению урана и переработке отработавшего топлива, а также существования международного незаконного рынка чувствительных ядерных технологий подчеркнуло необходимость усиления контроля над этими частями ядерного топливного цикла. В ответ был разработан ряд предложений, включая предложения Генерального директора МАГАТЭ, призванных усилить режим ядерного нераспространения на основе мер, касающихся применения укрепленных гарантий, улучшенной физической защиты ядерного материала и установок, а также усиления существующей системы контроля ядерного экспорта. Кроме того, продолжалась работа в рамках ИНПРО и инициативы "Поколение IV" по разработке будущих устойчивых с точки зрения нераспространения ядерно-энергетических технологий.

В.2.4. Ресурсы⁹

58. В 2004 году продолжился начавшийся в 2003 году драматический рост цен на уран в долларовом исчислении, что видно из рис. В-2. Этому способствовали такие факторы, как нарушения производственного процесса на ряде урановых рудников, слабые позиции доллара и сокращение запасов и вторичных поставок. Наличная цена в середине 2005 года достигла 75 долл./кг против 40 долл./кг в начале 2004 года. В среднесрочной перспективе рост спроса, как предполагается, будет влиять на цены как в высоком, так и в низком прогнозах МАГАТЭ (раздел В.2.1), и - по крайней мере вплоть до 2010 года - в справочном сценарии МЭА.

59. В последнем обновлении выпускаемой раз в два года "Красной книге" МАГАТЭ и Агентства по ядерной энергии ОЭСР - *Уран-2003: ресурсы, производство и спрос*, изданной в 2004 году, сообщается, что в 2002 году производство урана составило 36 042 т U, т. е. несколько ниже уровня производства 2001 года - 37 020 т U. В 2002 году производство обеспечивало приблизительно 54% потребностей реакторов всего мира (66 815 т U), в то время как остальная их часть удовлетворялась за счет вторичных источников, включая гражданские и военные запасы, переработку урана и повторное обогащение обедненного урана.

⁸ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ, касающейся устойчивости с точки зрения нераспространения и гарантий, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ <http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html>.

⁹ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ, касающейся ядерных ресурсов, имеется в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_home.html.

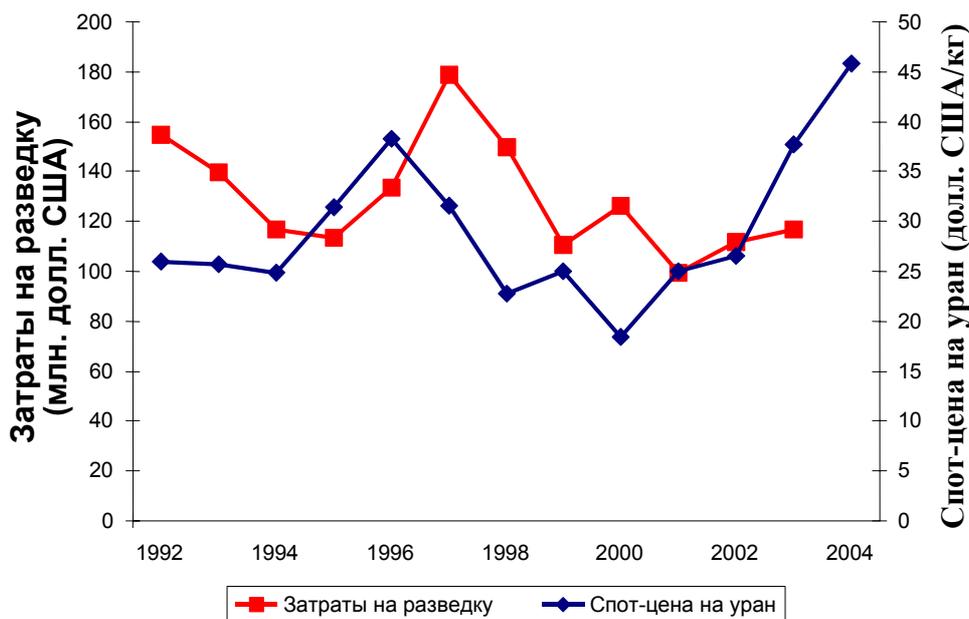


Рис. В-2. Рыночная цена на уран и затраты на разведочные работы, 1992–2004 годы.

60. Снижение производства урана с начала 1990-х годов объясняется не только низкими ценами. Свой вклад внесли также более строгое регулирование и возрастающее внимание к экологическим проблемам. Например, в 1940-х и 1950-х годах в Канаде период со времени открытия месторождения до производства, как правило, составлял от 3 до 10 лет. В 1960-х и 1970-х годах нормой были 11–16 лет, и в "Красной книге" 2003 года отмечается, что с 1980-х годов во многих странах обычными стали сроки от открытия до начала производства порядка 10-20 лет.

61. Исторически повышение цен приблизительно через год обычно сопровождалось расширением разведки урана, что видно из рис. В-2. Имеются признаки того, что эти тенденции сохраняются, и, когда все данные будут получены, кривая затрат на разведку в 2004 году определенно повысится.

В.2.5. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы¹⁰

62. С целью решения проблем, с которыми сталкивается в настоящее время ядерная энергетика, как указано в разделе В.2.3, многие страны стремятся повысить экономические показатели, безопасность, усовершенствовать обращение с отходами и повысить устойчивость с точки зрения нераспространения усовершенствованных систем "реактор-топливный цикл". Что касается усовершенствованных конструкций АЭС, то усилия сосредотачиваются на создании более простых в эксплуатации, инспектировании, техническом обслуживании и ремонте станций. В ближайшей перспективе большинство новых АЭС, вероятно, будут иметь эволюционную конструкцию, основывающуюся на апробированных системах, при этом будут применяться технологические достижения и нередко методы экономии, обусловленной ростом

¹⁰ Более детальная информация о деятельности МАГАТЭ по усовершенствованным ядерным системам помещена в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>) и на веб-сайте МАГАТЭ <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPTDS.html>. Информация о деятельности МАГАТЭ в области термоядерных систем также имеется в последнем выпуске Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html>).

масштабов производства. В долгосрочном плане особое внимание уделяется инновационным конструкциям, причем некоторые из них имеют характеристики в диапазоне от малой до средней мощности (до 700 МВт (эл.)). Они предполагают строительство с использованием заводских элементов, включая полные модульные блоки для быстрого монтажа на площадке, что будет обеспечивать возможности экономии за счет серийного производства вместо экономии, обусловленной ростом масштабов производства. Некоторые из них проектируются для эксплуатации без перегрузки топлива на площадке. Другие преимущества, связанные с менее мощными энергоблоками, включают более легкое финансирование, большую пригодность для небольших энергосетей или удаленных районов и потенциальную возможность их использования для централизованного теплоснабжения, опреснения морской воды и других неэлектрических применений. Такие преимущества должны повышать их привлекательность для многих развивающихся стран, а также некоторых развитых в промышленном отношении стран.

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

64. Индия и Канада работают над конструкциями усовершенствованного тяжеловодного реактора, и конструкции усовершенствованного газоохлаждаемого реактора разрабатываются в Германии, Китае, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, США, Франции, Южной Африке и Японии. По реакторам на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем опытно-конструкторские работы осуществляются в Индии, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, Франции и Японии. Опытные-конструкторские работы по реакторным системам на быстрых нейтронах с жидкометаллическим - свинцовый сплав и натрий - теплоносителем и по газоохлаждаемым реакторам на быстрых нейтронах (с гелиевым охлаждением) осуществляются в рамках Международного форума "Поколение IV" (МФП) и в Российской Федерации. Исследования по гибридным системам на спектре быстрых нейтронов (например, систем с использованием ускорителя) осуществляются в Индии, Республике Корея, Российской Федерации, США, Японии и восьми странах ЕС.

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

66. Участниками проекта ИНПРО МАГАТЭ являются Аргентина, Армения, Болгария, Бразилия, Германия, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Марокко, Нидерланды, Пакистан, Республика Корея, Российская Федерация, Турция, Украина, Франция, Чешская Республика, Чили, Швейцария, Южная Африка и Европейская комиссия. В 2003 году в рамках ИНПРО опубликован первоначальный отчет, который кратко характеризует потенциал ядерной энергетики и определяет руководящие принципы и методологию оценки инновационных

концепций. В 2004 году эта методология была испытана на основе экспериментальных применений в рамках ряда предметных исследований, и заключительный доклад по обновленной методологии ИНПРО был опубликован в декабре. На следующем этапе ИНПРО содействие будет оказано проведению государствами-членами оценок инновационных ядерно-энергетических систем (ИЯЭС) с использованием обновленной методологии ИНПРО, будут определены и смоделированы сценарии развертывания ИЯЭС, в которых учитываются стратегии, рассматриваемые государствами-членами, и будут определены возможные основы и варианты осуществления совместных НИОКР в целях разработки ИЯЭС, которые могут быть выполнены в течение следующей фазы.

67. Значительная часть нынешних экспериментальных и теоретических исследований в области управляемого термоядерного ядерного синтеза сосредоточена на проекте Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). Стадия "работ по инженерному проектированию" ИТЭР завершена, и реализация ИТЭР приблизилась после того, как стороны ИТЭР — Европейский союз, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, США и Япония — объявили 28 июня 2005 года о том, что площадка была выбрана в Кадараше, Франция. Цель ИТЭР состоит в том, чтобы продемонстрировать научно-техническую осуществимость термоядерной энергетики путем постройки действующей термоядерной электростанции. Потребуется приблизительно 8 лет для того, чтобы построить ИТЭР, и затем он будет работать в течение последующих двадцати лет. Это будет первая установка в мире, в которой управляемая термоядерная реакция будет давать по меньшей мере в 5 раз больше энергии, чем она потребляет. ИТЭР откроет новые горизонты для ядерной науки и технологий в энергетических применениях, при этом побочные результаты ожидаются во многих других областях.

68. Продолжаются также исследования по другим подходам, использующим магнитное удержание, и в рамках национальных программ в США и во Франции интенсивно ведутся работы по инерционному удержанию. Строительство Национальной установки для термоядерного зажигания в США намечено завершить в 2008 году. Информацию о поддерживаемых МАГАТЭ исследованиях по термоядерному синтезу и другим темам можно найти на сайте <http://www-csr.iaea.org>, в докладе «Деятельность по координированным исследованиям: Ежегодный доклад и статистика за 2004 год».

С. Ядерные методы в продовольственной и сельскохозяйственной областях

С.1. Устойчивое землепользование и эффективность использования воды

69. Возрастающий спрос на продовольствие во всем мире оказывает огромное давление на устойчивость земельных и водных ресурсов, и в силу этого основное внимание в повестке дня исследований сельскохозяйственных систем переносится с простого определения способов увеличения производства на разработку вариантов, позволяющих сделать это без нанесения ущерба природным ресурсам. Такое изменение повестки дня исследований сопряжено как с новыми задачами в применении существующих ядерных методов, так и с новыми применениями, ориентированными на решение вопросов экологической устойчивости. Одна из основных задач - как применять ядерные методы в деле сохранения почвы и воды не просто на

уровне делянки и поля, а в более широких масштабах экосистемы, водосбора и ландшафта; другая задача - как определить зерновые культуры, которые эффективно используют ресурсы воды и питательных веществ почвы и приспосабливаются к неблагоприятным условиям (таким, как засуха, засоление почвы или питательный стресс). В настоящее время исследуется широкий диапазон ядерных методов, с тем чтобы провести диагностику неустойчивой практики и определить практику управления на уровне фермы и в масштабах более широких экосистем. Эти методы включают использование таких радиоизотопных индикаторов, как фосфор-32 и азот-15, изменений природной распространенности устойчивых изотопов (таких, как углерод-13, кислород-18 и азот-15) в почве, растениях и воде и радионуклидов, содержащихся в выпадениях (цезий-137, свинец-210 и бериллий-7). В ответ на возрастающую озабоченность по поводу количества и качества воды реализуются новые глобальные инициативы, базирующиеся на последних достижениях в использовании комплексов устойчивых изотопов (водород-2, кислород-18, углерод-13 и азот-15) для оценки эффективности использования воды в ряде систем растениеводства и водных ирригационных систем. В их числе будут инициативы по исследованию влияния графиков орошения на эффективность использования удобрений, по эффективному повторному использованию сельскохозяйственных сточных вод в качестве источника воды и питательных веществ для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и по выяснению относительного значения различных источников загрязнителей, поступающих в водные стоки с сельскохозяйственных угодий. Вышеупомянутые изотопы наряду с использованием неизотопных индикаторов и нейтронных влагомеров для оценки влажности почвы должны обеспечить информацию, которая поможет в разработке таких средств управления фермерским хозяйством, которые позволят повысить эффективность использования воды и укрепить системы устойчивого сельского хозяйства в условиях богарного и орошаемого земледелия на основе лучшего понимания взаимодействия в системе "почва-растение-вода".

C.2. Улучшение сельскохозяйственных культур

70. Наиболее "чистым" и недорогим способом выведения сортов путем изменения одиночных характеристик, не затрагивая при этом общего фенотипа, по-прежнему является индуцирование мутаций в сочетании с селекцией. Споры относительно потенциальной опасности и рисков распространения и потребления генетически модифицированных (ГМ) организмов побуждают многие страны дискутировать, можно ли выращивать ГМ сельскохозяйственные культуры и потреблять ГМ продукты. На этом фоне и коммерческие компании, и государственный сектор проявляют возобновленный интерес к методам индуцирования мутаций как альтернативе трансгенике. Более 60% мутантных сортов были введены в культуру после 1985 года - в эпоху трансгенетики в селекции растений (89% официально введенных в культуру мутантных сортов – это радиационно-индуцированные мутантные сорта). Это происходит также в силу существенного экономического успеха селекции с помощью мутагенеза в США (рис, ячмень, подсолнечник, грейпфрут, мята); Пакистане (хлопок); Индии (фасоль видов мунго (урд)); Австралии и Канаде (льняное семя); Японии (груша); и Китае и Австралии (рис).

71. Еще одна важная тенденция – это расширение масштабов приватизации исследований в области программ по селекции методом индуцированной мутации не только декоративных цветов, но и промышленных, технических и продовольственных культур. Об этом свидетельствует рост обращений к открытой Базе данных по мутантным сортам ФАО/МАГАТЭ (MVD) и базе данных Хранилища мутантной зародышевой плазмы ФАО/МАГАТЭ (MGR). Информация о протоколах, используемых для индуцирования мутаций в различных сельскохозяйственных культурах, становится все более привилегированной (коммерческой тайной), и из открытых источников поступает все меньше информации о мутантном происхождении сортов (см. рис. C-1).



Рис. С-1. Общее число официально введенных в культуру сортов в МВД. Информация, полученная от официальных национальных компетентных органов государств - членом ФАО и МАГАТЭ.

72. Прогнозирование того, что может быть доступно или будет важно в будущем, а также вероятных последствий – задача сложная, но недавние события в биотехнологии, особенно в понимании структуры и функции геномов растений, подтверждают, что индуцирование мутаций является одним из наиболее эффективных и рентабельных средств в проектах по функциональной геномике, связанных с открытием генов и выявлением их функций. Все чаще речь идет о необходимости организовать обширные коллекции мутантов для исследования основных эволюционных, биохимических и физиологических механизмов, с конечной целью разработки сетей мутаций (коллекций полностью охарактеризованных и отобранных мутантов, сформированных в массив для высокопродуктивных исследований) для целей функциональной геномики. Высокопродуктивные технологии и методологии функциональной геномики откроют новые возможности изучения фундаментальных и прикладных аспектов биологии. Будет осуществлен переход от статического изучения геномного фингерпринтинга к динамичному исследованию транскриптомного (со всеми выраженными генами) профилирования. Ядерные методы все более активно способствуют развитию этого изменения в системе понятий благодаря получению базовых и необходимых мутантных ресурсов.

С.3. Защита сельскохозяйственных культур

73. Возрастает интерес коммерческих компаний к массовому производству стерильных насекомых для комплексного применения метода стерильных насекомых (МСН), в частности, в целях борьбы с плодовой мухой, особенно средиземноморской плодовой мухой. Ранее МСН использовался главным образом для локального уничтожения основных насекомых-вредителей. Это не приводило к прогнозируемому и непрерывному спросу на стерильных насекомых. Вместе с тем по крайней мере в отношении средиземноморской плодовой мухи МСН стал теперь рентабельной технологией. В результате подход в применении МСН смещается от уничтожения популяций вредителей к их повседневному подавлению, что ведет к образованию постоянного спроса на стерильных средиземноморских плодовых мух и, таким образом, создает условия для коммерциализации МСН применительно к средиземноморской плодовой мухе.

74. Такое развитие событий ставит ряд юридических вопросов и вопросов права интеллектуальной собственности, относящихся к используемой и разрабатываемой технологии МСН. Ранее производство и выпуск стерильных насекомых непосредственно были в компетенции главным образом правительств, они свободно распространяли эту технологию, и, следовательно, эти вопросы по существу не возникали. Например, одно из наиболее важных технологических достижений – это внедрение в программы МСН линий с генетическим определением пола (ЛГОП), таких, как однополые (только самцы) линии средиземноморской мухи с температурно-чувствительной летальной мутацией. Теперь эти однополые линии только самцов используются во всех странах, где осуществляются программы борьбы со средиземноморской плодовой мухой с помощью МСН, и условия передачи или лицензирования их частным компаниям еще не определены.

75. Использование стерильных насекомых вместо инсектицидов для подавления основных вредителей способствует выживанию и эффективному действию средств биологической борьбы в целях решения проблем вторичных вредителей и, таким образом, оказывает положительное воздействие на спрос на эти средства. По оценкам только для Средиземноморского бассейна потенциальный спрос на стерильную средиземноморскую плодовую муху составляет по крайней мере 4 миллиарда стерильных самцов в неделю, что приблизительно равняется нынешнему общемировому производству. Для частичного удовлетворения этого спроса в указанном регионе установки для массового разведения сооружаются в Израиле и в Испании.

76. В результате осуществления в течение десяти лет комплексной программы по использованию МСН в борьбе со средиземноморской плодовой мухой на обширных территориях в Аргентине официальные органы Чили недавно признали основные районы коммерческого производства фруктов в провинции Мендоса в качестве районов, "свободных от средиземноморской плодовой мухи". Это позволит осуществлять вывоз сельскохозяйственной продукции непосредственно через территорию Чили в порты на Тихом океане для экспорта на рынки свежих фруктов в странах Тихоокеанского бассейна.

77. Недавние достижения в создании трансгенных линий насекомых-вредителей открывают возможности для применения молекулярных подходов в целях улучшения линий для МСН. В настоящее время в обеспеченных соответствующей защитой лабораториях ряда университетов и исследовательских организаций оцениваются и характеризуются несколько таких линий, имеющих полезные признаки. Однако их применение даже в качестве стерильных насекомых требует проведения значительной дальнейшей оценки риска и создания регулирующей основы и, таким образом, в ближайшем будущем не ожидается.

С.4. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве

78. Главные усилия в исследованиях сельскохозяйственных животных связаны с использованием молекулярных и генетических методов, которые должны позволить понять геномы и управлять ими. Несмотря на рост использования нерадиоактивных методов, в этих усилиях по-прежнему широко используются радиоизотопы.

79. Потенциал использования ядерных технологий в интересах фермеров в развивающихся странах широко освещался в недавно выпущенных трудах Международного симпозиума ФАО/МАГАТЭ по применению генно-инженерных технологий для совершенствования животноводства и ветеринарии (см. <http://www.iaea.org/programmes/nafa/d3/mtc/final-report-int-symposium.pdf>).

С.5. Безопасность пищевых продуктов и безопасность продуктов растительного и животного происхождения

80. Облучение и другие ядерные методы все шире используются частным сектором для обеспечения безопасности пищевых продуктов и минимизации рисков, возникающих в силу наличия химических, биологических и физических опасностей, и для содействия внутренней и международной торговле. Этот рост спроса связан с комплексными сельскохозяйственными системами производства, переработки и гигиенического контроля продуктов растительного и животного происхождения и включает управление экологическими опасностями. Предполагается, что правительства будут уделять все больше внимания решению проблем безопасности пищевых продуктов на уровне источника их возникновения, и речь здесь идет о производстве продукции, представляющей особый интерес для жителей соответствующих стран, включая свежие фрукты и овощи, мясо и мясные изделия, а также молочные продукты. Ожидается также, что, несмотря на доказанную безопасность и пищевую ценность облученных пищевых продуктов, отрицательное восприятие и непризнание потребителем облучения пищевых продуктов будет и далее препятствовать применению этой технологии, и поэтому для содействия ее более широкому использованию в пищевой промышленности необходимы учебные и образовательные программы и информация, освещающие преимущества этой технологии.

Д. Здоровье человека

Д.1. Питание

81. Использование изотопной технологии все более широко признается при сравнении с обычными методами как более подходящий и точный метод разработки и оценки программ питания. В качестве рентабельного метода оценки потребления и поглощения минералов и витаминов из обогащенных пищевых продуктов рекомендуются изотопные индикаторы. Методы изотопного разбавления могут использоваться для мониторинга изменений в композиционном составе тела при ожирении, белковой и энергетической недостаточности или у больных ВИЧ/СПИДом или раком. В этих методах используются дейтерий или кислород-18.

82. В качестве ценного инструмента в реализации стратегий управления здравоохранением признается также точная информация об энергетических потребностях. Метод воды с двойной меткой как дейтерием, так и кислородом-18 теперь признан в качестве стандартного метода, используемого для измерения расхода энергии, на основе которого можно рассчитать энергетические потребности популяций в различных условиях.

83. Более важное значение приобретает также оценка композиционного состава тела, которая является ценной с точки зрения укрепления здоровья или наблюдения за развитием болезни. Многообещающим методом измерения композиционного состава тела является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (DEXA), при этом данный метод, хотя он первоначально был разработан для измерения плотности костных минералов, теперь считается точным средством определения общего и регионального распределения жировых тканей.

D.2. Ядерная медицина

84. Исследования с использованием короткоживущих радионуклидов в ядерной медицине помогают практикующим врачам изучать метаболические процессы, происходящие в организме пациента. Заболевание всегда воздействует на нормальные метаболические процессы, и обычно эти изменения происходят до появления анатомических изменений, которые распознаются классическими рентгенографическими методами. Таким образом, раннее обнаружение метаболических изменений может дать более убедительные основания для медицинского или хирургического вмешательства. Для оптимизации клинических процедур и в конечном счете итогов лечения все шире используются стандартные протоколы, которые основываются на таких исследованиях и были разработаны для больных сердечно-сосудистыми или раковыми заболеваниями. Это стало возможным благодаря позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), которая является одним из наиболее быстро развивающихся методов ядерной медицины. Этот метод становится стандартной клинической процедурой ядерной медицины, и в нем используются ультракороткоживущие радиоизотопы, связанные с биологическими маркерами. В частности, с использованием меченной радиоактивными изотопами глюкозы, известной как ФДГ (фтор-18дезоксиглюкоза) или C11-холин, можно изучать метаболизм глюкозы и аминокислот в органах. Затем функциональные изображения ПЭТ сопоставляются с изображениями, полученными с помощью рентгеновской компьютерной томографии, и, таким образом, получается детальная информация об изменениях в состоянии здоровья пациентов, которая может содействовать улучшению лечения рака. В отличие от однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (СПЕКТ), которая является наиболее широко используемым методом отображения *in vivo* в ядерной медицине, для внедрения ПЭТ в развивающихся странах в силу нынешних высоких затрат потребуется время.

85. Существует множество радиоизотопных процедур *in vitro* для генотипирования и молекулярного профилирования, пригодных для применения в клинической молекулярной биологии. Эти процедуры становятся все более важными в ряде клинических и предклинических условий - от определения изменений в раковых клетках до лекарственной устойчивости паразитов, вызывающих малярию, и туберкулеза.

86. Помимо хорошо отработанного лечения тиреотоксикоза и рака щитовидной железы, главное достижение в терапевтических применениях ядерной медицины – это получение меченных радиоактивными изотопами моноклональных антител и меченных радиоактивными изотопами пептидов для лечения таких болезней, как лимфомы и нейроэндокринные опухоли. Это позволит обеспечить целенаправленное терапевтическое действие, которое может применяться к определенным типам раков и при значительно меньших побочных эффектах по сравнению с традиционной химиотерапией. Кроме того, для паллиативного лечения болей в

случае ракового заболевания в поздней стадии имеется целый ряд радиофармацевтических препаратов, которые позволяют добиться эффективного с точки зрения затрат повышения качества жизни пациентов, страдающих от костных метастаз, и отказа от необходимости ежедневного лечения наркотическими препаратами и от другой дорогостоящей фармацевтической поддержки этих пациентов.

D.3. Радиотерапия

87. 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, мозга и предстательной железы. Однако в некоторых случаях такой результат достигается за счет повышения токсичности. Продолжаются исследования, цель которых - изменить фармацевтические средства и их мишени таким образом, чтобы обеспечить сохранение их радиосенсибилизирующего воздействия на ткани, пораженные раком, при снижении токсичности для здоровых тканей. МАГАТЭ содействует исследованиям по мониторингу замедленной токсичности химических модификаторов эффектов излучения, а также по идентификации молекулярных мишеней, помогающих раковым клеткам избегать гибели после облучения, и мишеней, ответственных за лучевое поражение здоровых тканей.

88. В течение многих лет радиотерапевтические процедуры в рамках стандартной практики проводились пять раз в неделю. Некоторые недавние исследования показывают, что применение этого лечения более пяти раз в неделю (ускоренная радиотерапия) может сделать борьбу с опухолями в случае некоторых видов раковых заболеваний более результативной без значительного повышения токсичности. Агентство содействует исследовательской деятельности в этой области.

89. Достижения в технологии, такие, как радиотерапия с модулированием по интенсивности (IMRT), протонная терапия и радиотерапия тяжелыми частицами, а также томотерапия, обеспечивающие конформную терапию опухолей и онлайн-визуализацию в ходе лечения, позволяют увеличивать физическую дозу на злокачественный "целевой объем" без увеличения дозы на здоровые органы за пределами этого объема. Хотя в настоящее время затраты на эти технологии высоки, они могут быть уменьшены благодаря улучшенному физическому распределению дозы путем проведения лечения меньшим количеством процедур (гиперфракционирование), чем в процессе традиционной радиотерапии.

D.4. Дозиметрия и медицинская радиационная физика

90. Обеспечение качества в радиационной медицине помогает гарантировать ее безопасное и эффективное применение. Внедрение новых комплексных методов лечения привело к увеличению спроса на точную дозиметрию. Даже при том, что лечение становится все более комплексным, основная потребность в точной калибровке пучка остается критически важной. Мировой тенденцией в радиотерапевтической дозиметрии в настоящее время является применение сводов положений по дозиметрии на основе калибровки по поглощенной дозе в воде, таких, как международный свод положений МАГАТЭ "*Определение поглощенной дозы во внешней радиотерапии*" (Серия технических докладов, № 398). Хотя дозиметрия в диагностической радиологии еще не достигла того же уровня стандартизации, что и в радиотерапии, она продолжает играть важную роль в обеспечении безопасности пациентов. МАГАТЭ и Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям разрабатывают международный свод положений по дозиметрии в этой области.

91. Возрастает значение применения данных о пациенте для индивидуализированного планирования лечения в терапевтической ядерной медицине, в частности, применительно к педиатрическим пациентам. Точное планирование лечения требует стандартизированного подхода к измерению необходимых физических и биологических параметров пациента и применения указанных данных к соответствующим моделям. МАГАТЭ осуществляет деятельность по разработке сводов положений для компонентов этого процесса, касающихся визуализации и измерения радиоактивности.

92. Одна из новых задач в медицинской радиационной физике возникает в связи с эволюцией трехмерной конформной радиотерапии в радиотерапию под визуальным контролем (IGRT), которая позволяет отслеживать и поддерживать точность пучка, следуя изменениям положения опухоли в соответствии с анатомией пациента. IGRT предназначена для улучшения клинических результатов путем облучения опухоли более высокими дозами при ограничении размеров поля лечебного облучения, что позволит предохранить подвергающиеся риску органы и защитить нормальную ткань. IGRT позволяет учитывать при подготовке плана лечения изменения в анатомии, перемещение органов и изменения размеров и положения опухоли, а также наблюдать за указанными изменениями в процессе лечения. Она позволяет использовать в радиотерапии последние достижения в области визуализации, такие, как синтез изображений МР-КТ (магнито-резонансной и компьютерной томографии) или регистрация изображений ПЭТ-КТ, а также 4D КТ и КТ с конусным пучком, которые в настоящее время используются в современных лечебных учреждениях. С помощью электронных портальных визуализирующих устройств (EPID) для проверки доставки лечебной дозы получают многократные портальные изображения, которые контролируют положение пациента и отображают доставленные дозы.

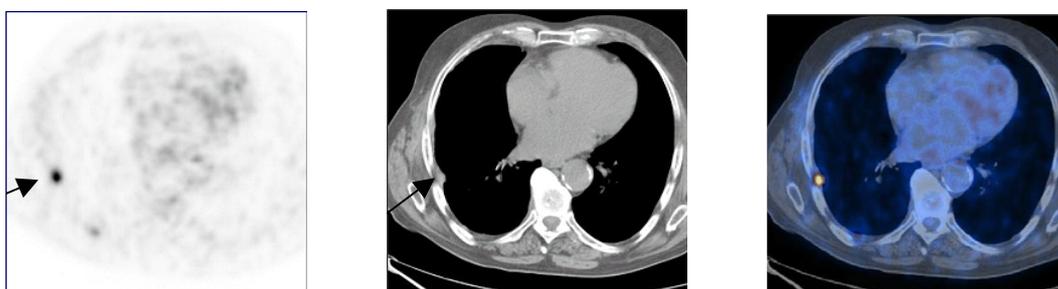


Рисунок D-1. Мультимодальная визуализация (синтез изображений): усовершенствованная диагностика рака (определение стадии) при использовании мультимодального «синтеза» изображений ПЭТ (слева) и КТ (в центре). На правом рисунке представлено комбинированное (полученное с помощью синтеза) изображение, которое показывает точное анатомическое местоположение опухолевого отложения, едва видимого на одном изображении КТ. (Снимок любезно предоставлен д-ром С. Фанти, Университет г. Болоньи, Италия)

93. Проверки в области радиотерапии представляют собой важное средство обеспечения надлежащего качества процесса как при использовании традиционных, так и новых методов. Современная тенденция сводится к расширению проверок, касающихся физических аспектов, и их доведению до уровня всесторонних анализов, проводимых с участием мультидисциплинарных групп ревизоров. В то же время разрабатываются новые методы проверки радиотерапевтической дозиметрии, с тем чтобы идти в ногу с последними достижениями в радиотерапевтической технологии.

Е. Водные ресурсы

94. Управление водными ресурсами остается одним из наиболее актуальных вопросов международной повестки дня. Организация Объединенных Наций объявила 2005–2015 годы десятилетием действий “Вода для жизни”, признавая критически важную связь между водой и развитием. Существует тенденция к расширению использования подземных вод в целях удовлетворения растущего спроса на этот ресурс, в значительной степени вследствие ограниченных запасов поверхностных вод. Изотопные методы все шире используются для обеспечения устойчивого управления подземными водами, в частности для того, чтобы понять некоторые аспекты водного цикла, такие, как происхождение воды, скорость пополнения и характеристики водных потоков, - эта информация необходима для принятия обоснованных решений в области управления.

95. Учитывая возросшую зависимость от подземных вод в удовлетворении растущих потребностей в водных ресурсах, международные организации, включая МАГАТЭ, разрабатывают “Перспективу мировых ресурсов подземных вод”, которая будет представлена на 4-м Всемирном форуме по водным ресурсам в Мехико в 2006 году. Этот прогноз призван служить планом эффективного управления подземными водами, и он будет включать руководящие принципы в отношении того, как правильно использовать для эффективного управления подземными водами науку и технологии, такие, как изотопная гидрология.

96. Возрастающее внимание уделяется деятельности по управлению трансграничными водоносными горизонтами. В недавно составленном глобальном реестре водных ресурсов определено более 400 таких “совместно используемых” водоносных горизонтов. Глобальный экологический фонд, Всемирный банк, Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН), Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), МАГАТЭ и другие организации, признавая возможность возникновения конфликтов по поводу совместно используемых водных ресурсов, начали оказывать поддержку проектам, имеющим целью содействовать эффективному совместному управлению. Изотопные методы для определения рисков загрязнения, динамики воды, ее возраста и источников загрязнения становятся важнейшими инструментами трансграничного управления подземными водами и выработки подходов к устойчивому управлению ресурсами подземных вод.

Г. Морская и земная среды

Г.1. Морская среда

Г.1.1. Определение загрязнителей в морепродуктах с помощью радиоиндикаторных методов

97. Применение радиоиндикаторных ядерных технологий приобретает все более важное значение в оценке и мониторинге загрязнителей из наземных источников в зоне прибрежного рыболовного промысла, которые имеют последствия как для здравоохранения, так и для торговли. Осуществлению борьбы с токсичностью в морепродуктах, возникающей в связи с вредным цветением водорослей (ВЦВ), которое становится все более актуальной проблемой во всем мире, способствует, например, основанный на ядерной технологии рецептор-связывающий анализ (РСА), позволяющий оказывать более эффективную поддержку работам

по регулированию содержания в моллюсках паралитических ядов, попадающих в них в результате ВЦВ. Вероятное снижение в будущем приемлемых уровней содержания в моллюсках определенных токсинов потребует применения более чувствительных анализов, таких, как РСА.

98. Прикладные радиоиндикаторные методы также являются ценным инструментом решения проблем, связанных с попаданием металлических загрязнителей из наземных источников в прибрежные среды. Характер воздействия на отдельные морские виды и пути попадания в них металлов в результате деятельности горнодобывающей промышленности можно выяснить путем использования радиоизотопных индикаторов, таких, как никель-63, кобальт-57, марганец-54, кадмий-109, цинк-65 и серебро-110m. В целях содействия рыболовной отрасли указанные радиоизотопные индикаторы также проходят оценку с точки зрения эффективности их использования в качестве мониторов загрязнения. Аналогичным образом с помощью радиоизотопного индикатора мышьяк-73 на радиоэкологической экспериментальной установке в Лаборатории морской среды в Монако проведен анализ способности загрязнителей, содержащих мышьяк, накапливаться в локальных зонах промыслового рыболовства. Планы на будущее включают применение ядерных технологий визуализации к морским организмам, а также использование экспериментальных и полевых данных о загрязнителях для проведения оценок на основе учета риска вероятного воздействия этих загрязнителей на рыболовную отрасль и потребителей.

Г.1.2. Изучение с помощью изотопных индикаторов явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)

99. Воздействие явления ЭНЮК как на морскую среду, так и на климат Земли рассматривается в качестве наиболее важного экологического явления, затрагивающего климат Тихоокеанского региона, а также всей планеты в целом и имеющего значительные последствия для популяций рыбы и дождевых осадков, включая формирование циклонов. Новые изотопные исследования явления ЭНЮК показали, что во время явления Эль-Ниньо температура морской поверхности возрастает, что сопровождается более высокими потерями на испарение и разделением изотопов, в результате чего происходит изменение изотопного состава морской воды по водороду-2, углероду-13, углероду-14 и кислороду-18. Было доказано, что кораллы сохраняют изотопные данные в своих годовых кольцах роста, и поэтому их можно использовать для реконструкции температур океанов в прошлом после определения абсолютной хронологии их роста; это может быть достигнуто с помощью специально проведенного радиоизотопного датирования годовых колец кораллов на основе применения ториевых/урановых методов датирования.

100. Работающие с изотопами океанографы и климатологи, используя датированные кораллы, в настоящее время разрабатывают хронологию роста кораллов и отложений, охватывающую несколько сотен лет. После завершения работы эта хронология позволит реконструировать температуру морской поверхности, а также частоту и интенсивность явлений Эль-Ниньо в прошлом для различных мест, с тем чтобы лучше прогнозировать взаимодействие океана и атмосферы в будущем.

Ф.1.3. Нарушения равновесия естественных радионуклидов позволяют отслеживать углеродные воронки в толще воды океанов

101. До 50% двуокиси углерода, попавшей в атмосферу в результате сгорания органического топлива, поглощается толщей воды океана в результате физико-химического растворения CO_2 в газообразной форме и биологического поглощения и образования отложений мертвого органического вещества. Задача отслеживания этого вертикального углеродного потока частиц к морскому дну стояла перед учеными-океанологами в течение многих лет до тех пор, пока недавно не было открыто, что торий-234 (образующийся из природного урана-238 в морской воде) оседает на дно, находясь на поверхности осаждающихся частиц. Благодаря периоду полураспада, составляющему 24 дня, он служит прекрасным "хронометром", позволяющим отследить возраст и судьбу осаждающихся частиц в океане. Используя метод тория-234, океанографы обнаружили стократные колебания размера океанских углеродных воронок в различных морях, что тесно связано с ростом и количеством микроскопических растений или фитопланктона. В настоящее время считается доказанным, что этот "биологический" океанский насос углерода имеет критически важное значение для регулирования пределов, в которых океан сможет продолжать абсорбировать CO_2 и другие парниковые газы, накапливающиеся в атмосфере.

Ф.2. Земная среда

Ф.2.1. Радиоэкологические исследования

102. Радиоэкологические исследования первоначально проводились в рамках изучения последствий испытаний ядерного оружия и выбросов из реакторов, а также операций по переработке или авариях. В последние годы возрос интерес государств-членов к ряду других источников радиологического воздействия, таких, как обедненный уран, оставшийся после военных операций и в результате работы горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также радиоактивные материалы природного происхождения (РМПП). Кроме того, все большее внимание в глобальном масштабе получает применение ядерных методов и производных моделей и параметров в экотоксикологических исследованиях по оценке загрязнителей, иных, чем радионуклиды, а также оценка синергического воздействия смешанного загрязнения.

103. Во всех указанных случаях руководителям и регулирующим органам необходима информация для обоснования принимаемых ими решений. Предоставление базовых данных является важным, однако недостаточным условием удовлетворения этих потребностей. Дополнительным инструментом является использование прогнозных моделей, и МАГАТЭ в течение продолжительного времени активно занимается разработкой как общих, так и конкретных моделей и оценкой и табулированием значений параметров моделей.

104. Новые возможности обеспечивают последние разработки средств дистанционного зондирования, в частности более высокое пространственное и спектральное разрешение. Одним из таких примеров является аэрогаммасъемка. Традиционно эти методы использовались для шахтной разведки, однако достигнутое в последнее время повышение пространственного разрешения привело к их практическому применению в экологической и в других сферах управления ресурсами. Географические информационные системы (ГИС) также обеспечивают механизм для хранения, обработки и индикации географических данных различного типа в форме, удобной для конечных пользователей.

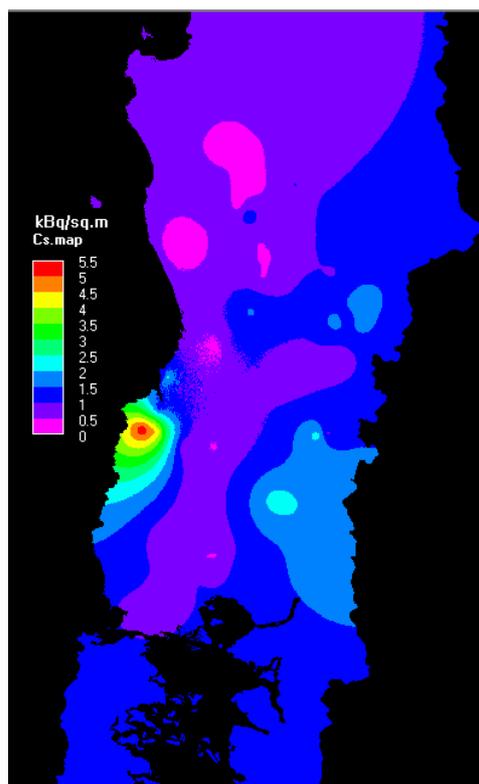


Рис. F-1. Пример использования ГИС в дополнение к системе поддержки принятия решений по экологическим вопросам: карта отложений Cs-137 в Чили. Получена посредством использования методов оконтуривания по данным измерения дождевых осадков и содержания Cs-137 в почве¹¹.

Г. Применение исследовательских реакторов

105. Исследовательские реакторы по-прежнему требуют внимания в связи с необходимостью обеспечения их устойчивого использования и с вопросами безопасности и сохранности. Научный форум на сессии Генеральной конференции 2004 года пришел к выводу о том, что, “хотя исследовательские реакторы будут продолжать играть критически важную роль в ядерной науке и технологии, важно обеспечить их эксплуатационный потенциал в смысле технических и финансовых ресурсов, выполнения существующих норм ядерной и обычной безопасности и других аспектов, связанных с физической безопасностью, принятием общественностью и экологической ответственностью. К техническим аспектам, которые требуют рассмотрения, относятся возможности безопасного обращения с отработавшим топливом и его хранения, реконструкция реакторов, когда это необходимо, и окончательная дезактивация и снятие установок с эксплуатации”.

¹¹ Ссылка: SCHULLER, P., VOIGT, G. (Eds), Development of an Environmental Decision Support System (EDSS) to Identify Radioecological Sensitive Areas for Radiocaesium in Chile (CHIRSA), Final Report to Volkswagen Foundation, Neuherberg (2004).

106. В целях определения областей, требующих поддержки и международного сотрудничества, рассматривается вопрос о замене мишеней из высокообогащенного урана мишенями из низкообогащенного урана для крупномасштабного производства молибдена-99.

107. Целый ряд других радиоизотопов (свыше 150 в различных формах) продолжает находить широкое применение в медицине и промышленности. В целях разработки радиофармпрепаратов ведется активная работа по оценке радионуклидов, таких, как Lu-177, пригодных для терапевтических применений и легко производимых в исследовательских реакторах.

108. Нейтронные пучки исследовательских реакторов являются мощным средством исследований в целом ряде применений, в которых используются методы рассеяния нейтронов и нейтронной радиографии. Особое преимущество нейтронов – это их чувствительность по отношению к легким элементам (в отличие от рентгеновского излучения, которое является чувствительным применительно к более тяжелым элементам). Следовательно, более высокое разрешение достигается в нейтронной радиографии промышленно важных материалов при их тестировании, включая, например, исследование тепловыделяющих элементов. Прогресс в определении характеристик материалов и материаловедении с использованием методов рассеяния нейтронов помогает разрабатывать новые материалы. Хотя такие методы уже используются в некоторых странах, повышение информированности о потенциальных новых применениях и более широкой адаптируемости этих методов привело к повышению внимания, которое им уделяется.

Н. Применение ускорителей

109. Разработка надежных ускорителей в течение прошедшего десятилетия позволила многим лабораториям модернизировать свои установки, оснастив их требующими минимального обслуживания и высоконадежными системами для безопасной эксплуатации установок операторами без специальной подготовки. Возрастает использование менее мощных и более компактных ускорителей для целей прикладных наук и технологий, а не фундаментальных наук. Новейшие технические достижения в настоящее время позволяют эксплуатировать небольшие ускорители вне научно-исследовательских лабораторий для применений на местах.

110. Новые источники нейтронов на основе ускорителя с использованием реакции скалывания, которые в настоящее время сооружаются в Японии и США, станут главными установками для использования нейтронов в науке и технологиях. Указанные установки являются примерами источников нейтронов на базе ускорителей частиц на высокую энергию свыше 1 ГэВ. Их преимущества перед обычными реакторными источниками частично обеспечиваются благодаря более эффективной работе в импульсном режиме, в котором не могут работать источники на базе реактора. Кроме того, их работа в импульсном режиме может обеспечиваться в сочетании с соответствующими приборами для использования нейтронов с повышением эффективности на величину, достигающую трех порядков.

111. Применение ядерных методов на основе ускорителя в исследованиях по материаловедению, разработке новых материалов, а также исследованиях окружающей среды является многообещающей сферой деятельности. Значительный интерес проявляется также к использованию анализа с помощью ионных пучков и ускорительной масс-спектрометрии, например, для датирования по углероду-14, исследований лекарственных препаратов и мониторинга окружающей среды.

I. Контроль промышленных процессов

112. Технология визуализации с помощью компьютерной томографии используется для диагностики промышленных многофазных технологических блоков. Многофазная реакторная технология лежит в основе переработки нефти, преобразования синтез-газа в топливо и химические реагенты, производства насыпных химических продуктов, специальных химикатов и полимеров, а также преобразования нежелательных продуктов в пригодные для регенерации материалы. В инженерно-технических процессах используются как гамма-трансмиссионная, так и гамма-эмиссионная томография для инспекции насадочных колонн, барботажных колонн, многофазных потоков, псевдооживленных слоев и пористых сред. Эта технология продолжает развиваться, но у нее уже имеется потенциал, который позволит добиться значительного повышения эффективности и безопасности в многофазных перерабатывающих отраслях промышленности. На основе достижений в области медицинской визуализации в лабораторных масштабах для промышленных процессов внедряется метод СПЕКТ. Еще одним разрабатываемым в настоящее время перспективным методом является двумерная визуализация с помощью гамма-камеры. Совершенствуется метод отслеживания единичных частиц, в частности в целях изучения реакторов с псевдооживленным слоем.

I.1. Радиационная обработка - нанотехнология

113. Нанотехнология является одной из наиболее быстро развивающихся областей в науке и технике, и ее применение сулит большие экономические выгоды. Способность изготавливать высокоточные структуры с нанометрическими размерами и точностью имеет основополагающее значение для полного использования этой технологии. Излучения в этой связи являются эффективным инструментом, например, для модифицирования и обработки поверхностей. Намечаются новые тенденции в области прецизионной обработки, например для ионных трековых мембран и систем доставки лекарственных средств с контролируемым высвобождением. Радиационные технологии, основанные на применении рентгеновского излучения, электронных лучей и ионных пучков, – это ключ к разнообразным подходам в формировании нанорисунка (создании наноразмерных пор); при этом возрастающее внимание уделяется электронно-лучевой литографии. Проводится изучение радиационного синтеза металлических наночастиц (например, меди, серебра) в полимерах и цеолитах для применения в фотолюминесцентных, фотоэлектрических и солнечных элементах. Раствор солей металлов подвергается воздействию гамма-излучением, и реактивные виды веществ, вырабатываемые под действием излучения, уменьшают валентность металлических ионов до нулевой. Металлические сульфидные полупроводники нанометрических размеров изготавливаются посредством гамма-облучения подходящего раствора мономера, серы и металлических источников.