

Генеральная конференция

GC(55)/INF/5

26 июля 2011 года

Общее распространение

Русский

Язык оригинала: английский

Пятьдесят пятая очередная сессия

Пункт 17 предварительной повестки дня
(GC(55)/1)

Обзор ядерных технологий – 2011

Доклад Генерального директора

Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат ежегодно представляет всеобъемлющий Обзор ядерных технологий. Ниже прилагается доклад нынешнего года, в котором освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2010 году.
- В Обзоре ядерных технологий – 2011 рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, атомные и ядерные данные, применения ускорителей и исследовательских реакторов, ядерные технологии в продовольствии и сельском хозяйстве, здоровье человека, окружающая среда, водные ресурсы, а также производство радиоизотопов и радиационная технология. Дополнительная документация, связанная с Обзором ядерных технологий – 2011, размещена на веб-сайте Агентства¹ на английском языке и посвящена последним событиям в области технологии радиационной онкологии, повышения продовольственной безопасности и качества пищевых продуктов путем применения изотопных методов для их отслеживания и эффективного использования изотопов с целью поддержки всеобъемлющего управления ресурсами подземных вод.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно также найти в Ежегодном докладе за 2010 год МАГАТЭ (GC(55)/2), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2010 год (GC(55)/INF/2).
- В данный документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета управляющих и другие замечания, полученные от государств-членов.

¹ <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/Agenda/index.html>

Содержание

Обзор ядерных технологий – 2011	1
Основные итоги	1
A. Энергетические применения	5
A.1. Ядерная энергетика сегодня	5
A.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики	7
A.3. Топливный цикл	9
A.3.1. Ресурсы и производство урана	9
A.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива	11
A.3.3. Конечная стадия топливного цикла	12
A.3.4. Обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации	13
A.4. Безопасность	16
B. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы	18
B.1. Усовершенствованные ядерные системы	18
B.1.1. Водоохлаждаемые реакторы	18
B.1.2. Системы на быстрых нейтронах	20
B.1.3. Газоохлаждаемые реакторы	20
B.1.4. ИНПРО и МФП	21
B.2. Термоядерный синтез	22
C. Атомные и ядерные данные	24
D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов	26
D.1. Ускорители	26
D.2. Исследовательские реакторы	28
E. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях	31
E.1. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве	31
E.2. Борьба с насекомыми-вредителями	32
E.3. Улучшение сельскохозяйственных культур	34
E.4. Рациональное использование почвы и воды	36
E.4.1. Новые рубежи в оценке секвестрации почвенного углерода на сельскохозяйственных землях	36
E.4.2. Использование изотопов кислорода в фосфате для отслеживания источников и цикличности фосфора в почвах	37
F. Здоровье человека	38
F.1. Питание	38
F.2. Достижения в применении методов радиационной онкологии	38
F.3. Новые события в технологии ядерной медицины в области кардиологических исследований	39
G. Окружающая среда	41
G.1. Использование ядерной технологии для раннего предупреждения о вредоносном цветении морских водорослей	41
G.2. Роль долгоживущих радионуклидов в понимании процессов, происходящих в окружающей среде	42
H. Водные ресурсы	43
I. Производство радиоизотопов и радиационная технология	44
I.1. Радиоизотопы и радиофармацевтические препараты	44
I.1.1. Использование действующих на молекулярном уровне препаратов для визуализации и лечения	44
I.1.2. Надежность поставок молибдена-99 и технеция-99m	45
I.2. Применения радиационных технологий	46
I.2.1. Комплексное применение радиоизотопных индикаторов и компьютерного моделирования при регулировании отложений	46
I.2.2. Слаботочные электронные пучковые (ЭП) ускорители	47

Обзор ядерных технологий – 2011

Доклад Генерального директора

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. Продолжается оценка аварии на АЭС "Фукусима-Дайити", которая была вызвана чрезвычайными стихийными бедствиями – землетрясением и цунами – происшедшими в Японии 11 марта 2011 года. Поскольку данный доклад посвящен событиям, имевшим место в 2010 году, авария и ее последствия в нем не рассматриваются, а будут рассмотрены в будущих докладах Агентства.
2. В 2010 году началось строительство 16 новых ядерно-энергетических реакторов, что является самым высоким показателем с 1985 года. С учетом подключения в этом году к энергосети 5 новых реакторов и вывода из эксплуатации 1 реактора общая мощность АЭС во всем мире возросла до 375 ГВт (эл.). Пересмотренные в 2010 году прогнозы будущего роста ядерной энергетики по-прежнему свидетельствовали о высоких ожиданиях в отношении развития этой отрасли.
3. Расширение мощностей, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики по-прежнему происходило главным образом в Азии. В Азии находятся две трети сооружаемых в настоящее время реакторов и здесь же расположены 13 из 16 реакторов, строительство которых начинается. Из этого числа реакторов, строительство десяти начинается только в одном Китае. В 2010 году сохранялись тенденции последнего времени в отношении повышения мощности и возобновления или продления сроков лицензий действующих реакторов, особенно в некоторых европейских странах, где продолжался пересмотр политики, ограничивающей будущее использование ядерной энергии. По-прежнему отмечался широкий интерес в отношении разработки новых ядерно-энергетических программ, и свыше 60 государств-членов сообщили Агентству о своей заинтересованности в рассмотрении возможности развития ядерной энергетики.
4. В издании 2010 года "Красной книги" АЯЭ/ОЭСР и МАГАТЭ оценки установленных традиционных ресурсов урана, извлекаемых с затратами менее 130 долл./кг U, несколько снизились по сравнению с предыдущим изданием, но производство урана во всем мире значительно возросло главным образом из-за увеличения производства в Казахстане. Цены спот на уран, которые снизились в 2009 году, достигли в конце 2010 года максимального уровня за два года – 160 долл./кг U – несмотря на то, что в начале и середине года они колебались в районе 105-115 долл./кг U.
5. Совет управляющих утвердил в декабре 2010 года создание банка низкообогащенного урана (НОУ) МАГАТЭ, который будет принадлежать МАГАТЭ и управляться им в качестве гарантирующего запаса топлива для выработки электроэнергии. Также в декабре в Ангарске, Российская Федерация, был открыт запас НОУ под эгидой Агентства в объеме 120 тонн НОУ,

которого достаточно для двух полных загрузок топливом активной зоны энергетического реактора мощностью 1000 МВт (эл.).

6. В настоящее время более 50 государств-членов рассматривают альтернативные возможности или приступили к разработке вариантов захоронения с учетом особенностей накопившихся у них отходов. В январе 2010 года в Словении было принято постановление о выборе площадки для хранилища низко- и среднеактивных отходов.

7. В ноябре 2010 года Европейская комиссия опубликовала предложение в отношении директивы Совета об обращении с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, в котором, среди прочего, государствам – членам ЕС предлагается представить национальные программы с указанием, когда, где и как будут строиться хранилища для окончательного захоронения, цель которых – гарантировать соблюдение самых строгих норм безопасности, и каким образом будет организовано управление ими. Финляндия и Швеция готовят документацию для выдачи лицензий на строительство глубинных геологических хранилищ отработавшего топлива. Французское управление по ядерной безопасности (АСН) представило новое издание национального плана по обращению с радиоактивными материалами.

8. В США в январе 2010 года была учреждена Комиссия независимых экспертов по ядерному будущему Америки после того, как правительство США приняло в 2009 году решение не продолжать работы по строительству глубинного геологического хранилища "Юкка-Маунтин". Ее первый промежуточный доклад будет, как ожидается, выпущен в июле 2011 года.

9. МАГАТЭ продолжало оказывать поддержку государствам-членам и международным программам с целью возвращения топлива исследовательских реакторов в страну его происхождения. В рамках Программы по возвращению российского топлива для исследовательских реакторов (RRRFR) приблизительно 109 кг свежего ВОУ топлива и 376 кг отработавшего ВОУ топлива были возвращены в Российскую Федерацию. В конце 2010 года из Винчи, Сербия, в Российскую Федерацию было перевезено 2500 кг выгоревшего отработавшего топлива исследовательского реактора. Успешное возвращение топлива из Винчи стало также крупнейшим проектом технического сотрудничества в истории Агентства.

10. В Китае 21 июля 2010 года впервые достиг критичности китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) бассейнового типа мощностью 65 МВт (тепл.) (20 МВт (эл.)). В Японии 6 мая 2010 года была возобновлена работа прототипного реактора-размножителя на быстрых нейтронах мощностью 280 МВт (эл.), и начались испытания для подтверждения технических характеристик.

11. Что касается термоядерного синтеза, то в июле 2010 года официально начался этап строительства Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). Предполагается, что первая плазма будет получена в ноябре 2019 года. Существенный прогресс был также достигнут на Национальной установке по термоядерному зажиганию (НИФ) в США, где в январе 2010 года был получен импульс с энергией 1 МДж.

12. Разработка, испытание, проверка пригодности и применение быстрых и точных ядерных и связанных с ними методов для ранней диагностики заболеваний сыграли главную роль в повышении продовольственной безопасности в 2010 году. Например, разрабатываются вакцины против бруцеллеза (широко распространенной зоонозной болезни) в Аргентине и Грузии, инфекций, вызванных паразитическими червями, в Судане, Шри-Ланке и Эфиопии, тейлериоза в Китае и Турции, трипаномоза в Индии и Кении, анаплазмоза в Таиланде и рыбных паразитов в Исламской Республике Иран.

13. Важным стратегическим компонентом повышения производительности в сельском хозяйстве и обеспечения глобальной продовольственной безопасности является увеличение

инвестиций в борьбу с сельскохозяйственными вредителями. В 2010 году были опубликованы материалы проекта координированных исследований (ПКИ) ФАО/МАГАТЭ, в осуществлении которого участвовали 18 исследовательских групп из 15 стран. Его результаты свидетельствуют о ряде новаторских путей применения ионизирующего излучения для содействия осуществлению биологического контроля с использованием хищников и паразитоидов, которые дополняют метод стерильных насекомых по экологически безопасной борьбе с насекомыми-вредителями.

14. В 2010 году продолжалось успешное использование мутаций или естественных наследственных изменений в генетическом материале растений для идентификации и отбора признаков, имеющих важное значение для улучшения сельскохозяйственных культур. Использование ядерных методов для индуцирования мутаций может ускорить темпы генетических изменений и тем самым повысить приспособляемость сельскохозяйственных культур к изменению и непостоянству климата. Были разработаны пакеты ядерных технологий, основанные на технологиях индуцирования мутаций, молекулярных технологиях, повышающих эффективность, и биотехнологиях, включая технологии культуры клеток и высокопродуктивные молекулярные технологии, которые помогут идентифицировать и использовать основные признаки для обеспечения приспособляемости к изменению и непостоянству климата.

15. Что касается здоровья человека, то продолжавшийся в 2010 году прогресс в области радиационной онкологии обеспечивает совершенствование лечения, позволяя в настоящее время добиваться более точного соответствия облученного объема форме опухоли и тем самым лучшего сохранения здоровых соседних тканей. Трехмерная конформная лучевая терапия (ЗМ-КЛТ) используется для определения полей облучения, в центре которых находится целевая опухоль.

16. Респираторно-синхронизированная радиотерапия позволяет учитывать перемещение органов и опухолей в процессе дыхания пациента. Это прежде всего касается опухолей, расположенных в районе грудной клетки, гортани, брюшной полости, предстательной железы и мочевого пузыря, а также таза в целом. При такой компьютерной лучевой терапии программа анализирует перемещения и инициирует воздействие пучка лучей в соответствующее время.

17. Достижения в области ядерной медицины в последние три года привели к сокращению как времени сканирования, так и дозы облучения, получаемой пациентами, при повышении общего качества изображений, что позволяет обеспечивать более уверенную и эффективную диагностику сердечно-сосудистых заболеваний. В традиционной системе визуализации СПЕКТ для сокращения времени сканирования в настоящее время используются новые детекторные материалы, такие как кадмий-цинковый теллурид (КЦТ), в сочетании с направленной коллимацией с помощью узкой диафрагмы и трехмерной реконструкцией.

18. Вспышка вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) в прибрежных районах может привести к значительным экономическим потерям вследствие повреждения морепродуктов, которые вылавливаются как для внутреннего потребления, так и для экспорта. Ядерные методы позволяют проводить точную и оперативную оценку таких ВЦВ, которая является подспорьем для национальных регулирующих органов в их усилиях по обеспечению безопасности морепродуктов. На состоявшемся в 2010 году ежегодном совещании Научной ассоциации, стремящейся к постоянному совершенствованию в проведении анализов (АОАК), метод рецепторсвязывающего анализа (РСА), представляющий из себя ядерную технологию, которая основана на использовании меченных радиоактивным изотопом токсинов, был назван в качестве одного из двух разработанных альтернативных методов, которые были успешно опробованы в ходе предварительных валидационных исследований.

19. Долгоживущие радионуклиды используются для изучения морских ресурсов, океанографических процессов и для оценки загрязнения морской среды в целях содействия рациональному использованию прибрежных зон. Благодаря своему собственному распаду с течением времени радионуклиды позволяют исследователям датировать и изучать такие крупномасштабные процессы, происходящие в окружающей среде, и получать данные, которые невозможно получить другими способами.

20. Стабильные и радиоактивные изотопы используются в эффективных с точки зрения времени и затрат исследованиях подземных вод, например, в системе водоносного горизонта Гуарани в Южной Америке, бассейне Тадлы в Марокко и водоносном горизонте нубийских песчаников в Северной Африке. Полученные изотопные данные применялись в 2010 году для подтверждения традиционных гидрологических исследований и для более глубокого понимания динамики потока подземных вод и водоносных горизонтов, что способствует комплексному управлению использованием подземных вод.

21. В 2010 году продолжало расти значение радиоизотопов и радиофармацевтических препаратов. Ширится применение высокоспецифических радиофармацевтических препаратов в качестве биомаркеров молекулярных процессов, лежащих в основе заболевания, подхода, известного под названием "молекулярная визуализация", поскольку они служат либо ранним индикатором болезни, либо объективным показателем для определения эффективности лечения, особенно пациентов, больных раком.

22. Технические проблемы привели к повторяющимся, продолжительным и зачастую совпадающим остановам исследовательских реакторов, которые способствовали продолжению кризиса с поставками молибдена-99, который возник в конце 2007 года. Предпринятые во всемирных масштабах координированные усилия по повышению эффективности удовлетворения спроса, сокращению транспортных проблем и аттестации реакторов, способных осуществлять облучение мишеней, оказали значительную помощь в смягчении последствий кризиса в течение 2010 года. Южная Африка стала первым основным производителем, который осуществил в 2010 году экспортные поставки в промышленных количествах молибдена-99 на основе НОУ, и крупномасштабное производство молибдена-99 началось также в декабре 2010 года в Научно-исследовательском институте атомных реакторов в Димитровграде, Российская Федерация. Кроме того, дефицит в обеспечении поставок генераторов производимого реакцией деления молибдена-99, а затем и технеция-99m, привел также к повышению интереса к изучению и разработке альтернативных технологий их производства, в частности тех, в которых не используется высокообогащенный уран. Кроме того, применение подходов на базе ускорителей поможет снизить исключительную зависимость от устаревших реакторов, эксплуатируемых в отрасли производства молибдена-99 на основе реакции деления. Канадские исследователи изучают возможность прямого производства технеция-99m на основе циклотронов, в качестве краткосрочной альтернативы, в медицинских центрах, которые расположены недалеко от циклотронов низких или средних энергий.

23. К последним достижениям в области промышленного применения радиационной технологии относятся комплексное применение радиоизотопных индикаторов и компьютерного моделирования при регулировании отложений. В 2009-2010 годах в Индии на существующей площадке для захоронения и на двух предлагаемых площадках для захоронения осуществлялись радиоиндикаторные исследования с использованием в качестве индикатора стеклянного порошка, меченного скандием-46. Результаты показали, что существующая площадка и одна из предлагаемых площадок пригодны для захоронения отложений, образующихся в ходе проведения дноуглубительных работ, а другая для этого непригодна.

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

24. Седьмой год подряд начинает строиться все больше новых реакторов. Хотя до рекордного уровня 1976 года, когда было начато строительство 44 реакторов, еще далеко, в 2010 году было начато строительство 16 реакторов, что является самым высоким показателем с 1985 года и заметно превышает показатели 90-х годов прошлого века и начала первого десятилетия XXI века.

25. По состоянию на 31 декабря 2010 года во всем мире в эксплуатации находился 441 ядерный энергетический реактор суммарной мощностью 375 ГВт (эл.) (см. таблицу А-1). Это примерно на 4 ГВт (эл.) больше суммарной мощности по состоянию на конец 2009 года, в основном благодаря подключению к энергосети пяти новых реакторов ("Линао-3" (1000 МВт (эл.)) и "Циньшань 2-3" (610 МВт (эл.)) в Китае, "Раджастан-6" (202 МВт (эл.)) в Индии, второй энергоблок Ростовской АЭС (950 МВт (эл.)) в Российской Федерации и "Сингори 1" (960 МВт (эл.)) в Республике Корея) и выводу из эксплуатации только одного (реактора "Феникс" (130 МВт (эл.)) во Франции).

26. В 2010 началось строительство 16 энергоблоков: "Ангра-3" в Бразилии, "Чанцзян-1", "Чанцзян-2", "Фанчэнган-1 и 2", "Фуцин-3", "Хайян-2", "Ниндэ-3", "Ниндэ-4", "Тайшань-2" и "Янцзян-3" в Китае, "Какрапар-3" и "Какрапар-4" в Индии, "Ома" в Японии, второго энергоблока Ленинградской АЭС-2 и четвертого энергоблока Ростовской АЭС в Российской Федерации. Для сравнения: в 2009 году началось сооружение 12 энергоблоков и возобновились активные строительные работы на 2 реакторах, а в 2008 году началось сооружение 10 энергоблоков.

27. По состоянию на 31 декабря 2010 года велось строительство в общей сложности 67 реакторов, что является самым высоким показателем с 1990 года.

28. Расширение мощностей, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики по-прежнему происходило главным образом в Азии. Из 15 реакторов, сооружение которых началось в 2010 году, 12 находятся в Азии. Как показано в таблице А-1, из 67 строящихся реакторов 45 расположены в Азии, и там же находятся 34 из 43 новых реакторов, подключенных в последнее время к энергосети.

29. В 2010 году сохранялись тенденции в отношении повышения мощности и возобновления или продления сроков лицензий многих действующих реакторов. В США Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) продлила лицензию на эксплуатацию АЭС "Купер ньюкLEAR стейшн" в штате Небраска и АЭС "Дьюан Арнолд энеРджи сентер" в штате Айова еще на 20 лет, в результате чего общее число утвержденных с 2000 года продлений лицензий достигло 61. Кроме того, в 2010 году КЯР было утверждено 6 заявок на повышение мощности, а 12 заявок на повышение мощности в общей сложности примерно на 1355 МВт (эл.) находились на стадии рассмотрения. В Соединенном Королевстве Инспекторат ядерных установок утвердил продление лицензии на эксплуатацию двухреакторной АЭС "Уилфа" на дополнительный срок до двух лет. Кроме того, он утвердил продление лицензии с 30 до 35 лет для четырех реакторов на АЭС "Хартлпул" и "Хейшем-1". В Российской Федерации российский регулирующий орган "Ростехнадзор" продлил на 15 лет лицензию на эксплуатацию четвертого энергоблока Ленинградской АЭС.

Таблица А-1. Действующие и сооружаемые ядерные энергетические реакторы в мире (по состоянию на 31 декабря 2010 года)^а

СТРАНА	Действующие реакторы		Сооружаемые реакторы		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2010 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2010 года	
	Число энерго-блоков	Всего МВт (эл.)	Число энерго-блоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	6,69	5,91	64	7
АРМЕНИЯ	1	375			2,29	39,42	36	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 926			45,73	51,16	240	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	14,24	33,13	149	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 884	1	1 245	13,90	3,06	39	3
ВЕНГРИЯ	4	1 889			14,66	42,10	102	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 490			133,01	28,38	768	5
ИНДИЯ	19	4 189	6	3766	20,48	2,85	337	3
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСП.			1	915				
ИСПАНИЯ	8	7 514			59,26	20,09	277	6
КАНАДА	18	12 569			85,50	15,07	600	2
КИТАЙ	13	10 058	28	28 230	70,96	1,82	111	2
МЕКСИКА	2	1 300			5,59	3,59	37	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			3,75	3,38	66	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	2,56	2,60	49	10
РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ	21	18 698	5	5 560	141,89	32,18	360	1
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	32	22 693	11	9 153	159,41	17,09	1026	5
РУМЫНИЯ	2	1 300			10,70	19,48	17	11
СЛОВАКИЯ	4	1 816	2	782	13,54	51,80	136	7
СЛОВЕНИЯ	1	666			5,38	37,30	29	3
СОЕД. ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	101 240	1	1 165	807,08	19,59	3 603	11
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	19	10 137			56,85	15,66	1 476	8
УКРАИНА	15	13 107	2	1900	83,95	48,11	383	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 716	1	1 600	21,89	28,43	127	4
ФРАНЦИЯ	58	63 130	1	1 600	410,09	74,12	1 758	4
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 678			26,44	33,27	116	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 238			25,34	38,01	179	11
ШВЕЦИЯ	10	9 303			55,73	38,13	382	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			12,90	5,18	52	3
ЯПОНИЯ	54	46 821	2	2 650	280,25	29,21	1 494	8
Всего ^{b, c}	441	375 267	67	64 064	2629,95	NA	14 353	4

а. Данные заимствованы из Информационной системы МАГАТЭ по энергетическим реакторам (<http://www.iaea.org/pris>)

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

Тайвань, Китай: 6 энергоблоков мощностью 4982 МВт в эксплуатации; 2 энергоблока мощностью 2600 МВт в стадии сооружения;
на АЭС выработано 39,89 ТВт·час электроэнергии, что составляет 19,3% общего производства электроэнергии.

с. Суммарный опыт эксплуатации включает также данные по остановленным станциям в Италии (81 год), Казахстане (25 лет 10 месяцев), Литве (43 года 6 месяцев) и на Тайване, Китай (176 лет 1 месяц).

30. В некоторых европейских странах, где ранее были введены ограничения на будущее использование ядерной энергии, в 2010 году продолжался начавшийся в 2009 году пересмотр политики. В Испании правительство утвердило продление на 10 лет лицензии для двухреакторной АЭС "Альмарес" и второго энергоблока АЭС "Вандельос". В ноябре 2010 года ЕК официально приступила к осуществлению Европейской промышленной инициативы по созданию ядерной энергетики с устойчивой ресурсной базой (ESNII) в поддержку Стратегического плана ЕС по энергетическим технологиям (SETP). Целью ESNII является демонстрация технологий четвертого поколения реакторов на быстрых нейтронах, а также поддержка исследовательских инфраструктур, топливных установок и НИОКР. В рамках ESNII основное внимание уделяется проектированию и строительству ядерных систем следующего поколения, способам продления сроков эксплуатации существующих АЭС и разработке долгосрочных решений в области обращения с радиоактивными отходами.

31. По-прежнему отмечался высокий интерес в отношении изучения вопроса о реализации ядерно-энергетических программ, и свыше 60 государств-членов сообщили Агентству о своей заинтересованности в рассмотрении возможности развития ядерной энергетики. МАГАТЭ предлагает этим государствам-членам широкий спектр помощи, включая нормы и руководящие принципы, более значительную техническую помощь, услуги по рассмотрению, создание потенциала и сети знаний. В декабре 2010 года Агентством была организована в Таиланде миссия по Комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (ИНИР).

А.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики

32. Ежегодно Агентство обновляет свои низкий и высокий прогнозы глобального роста ядерной энергетики. В 2010 году несмотря на вялый рост мировой экономики преобладали высокие ожидания в отношении будущего технологии. Это видно на примере подготовленного Агентством в 2010 году пересмотренного низкого прогноза общемировых мощностей, которые увеличились до 546 ГВт (эл.) в 2030 году по сравнению с прогнозом 2009 года в размере 511 ГВт (эл.). Согласно обновленному высокому прогнозу общемировые мощности достигли 803 ГВт (эл.), что несколько меньше прогноза 2009 года в размере 807 ГВт (эл.). Разница между высокими и низкими прогнозами на 2030 год оставалась значительной, хотя она и уменьшилась до 257 ГВт (эл.).

33. Наиболее существенная корректировка обоих прогнозов 2010 года в сторону повышения произведена в отношении Азии, региона, который включает не только страны, осуществляющие в настоящее время коммерческие ядерно-энергетические программы, такие как Индия, Китай, Республика Корея, Пакистан и Япония, но и несколько стран, которые приступают к развитию ядерной энергетики и в которых, как можно с разумным основанием ожидать, к 2030 году будут действующие АЭС (см. рис. А-1). По низкому прогнозу в период 2009-2030 годов за счет одного этого региона будет обеспечиваться 85% чистого прироста мощностей АЭС. Высокий спрос на энергию – особенно для производства электроэнергии – обусловлен неуклонным ростом населения, стремлением к ускорению экономического развития и соображениями энергетической безопасности. Такой высокий спрос на энергию в сочетании с большой вероятностью в будущем высоких и нестабильных цен на органическое топливо и экологическими соображениями стимулирует поиск низкоуглеродных источников энергии, одним из которых является ядерная энергетика.

34. Согласно прогнозам 2010 года в остальной части мира за исключением стран Содружества Независимых Государств (СНГ), где прогнозируется более высокий рост, производственные мощности АЭС согласно прогнозам увеличатся лишь незначительно. Неопределенность спроса

на электроэнергию – из-за медленного восстановления экономики, отсутствия определенности в отношении нового международного природоохранного соглашения по изменению климата и будущего в целом, а также сохраняющегося финансового консерватизма вследствие финансового кризиса – привела к тому, что страны Европы и Северной Америки занимают выжидательную позицию. В последней недавний стремительный рост поставок дешевого сланцевого газа мог также способствовать снижению ожиданий.

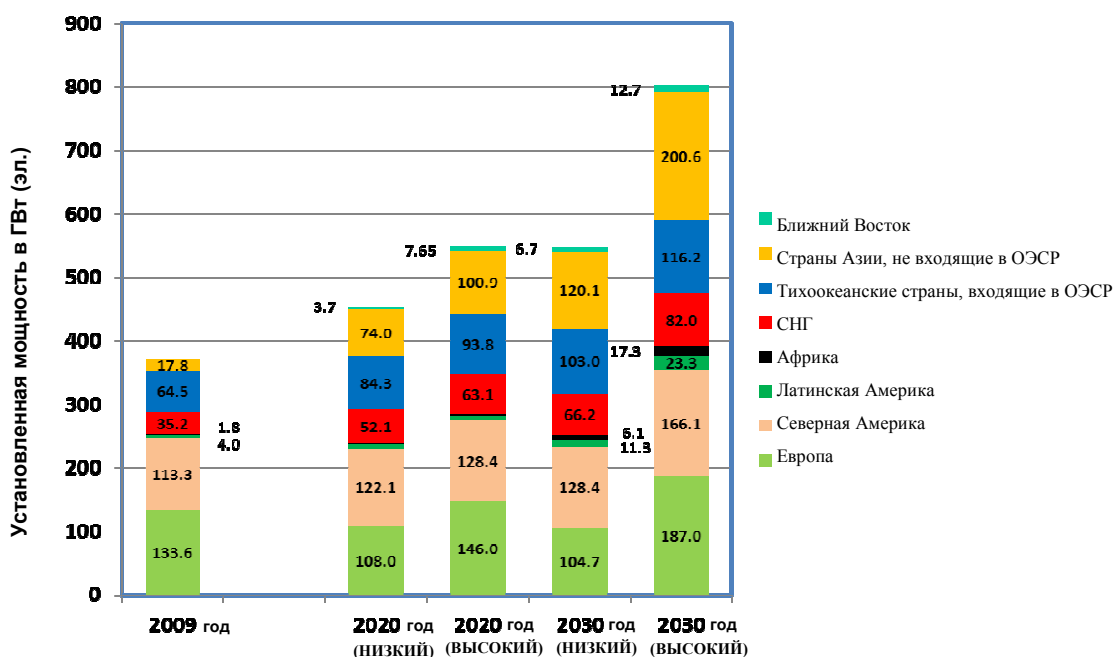


РИС. А-1. Рост производственных мощностей АЭС по регионам в 2009-2030 годах, низкий и высокий прогнозы 2010 года.

35. Высокий прогноз 2010 года предполагает, что средне- и долгосрочные факторы, способствующие росту ожиданий, вновь становятся доминирующей силой, в частности сохраняющиеся высокие показатели работы и безопасности АЭС, неослабевающая озабоченность по поводу глобального потепления, безопасности энергоснабжения и высоких и нестабильных цен на органическое топливо, а также прогнозируемый устойчивый рост спроса на энергию в средне- и долгосрочной перспективе. Согласно прогнозам 2010 года более быстрое восстановление экономики ведет к увеличению спроса на электроэнергию, обуславливающему расширение производства электроэнергии на АЭС во всех регионах. И вновь за счет Азии обеспечивается почти 60% увеличения общемировых мощностей, и она опять является основой высокого прогноза. Оставшаяся доля прироста обеспечивается за счет традиционных стран, производящих электроэнергию на АЭС и входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и СНГ, в то время как страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, впервые активно выйдут на рынок в районе 2025-2030 годов.

36. Прогнозы, опубликованные в Мировом энергетическом обзоре – 2010 Международного энергетического агентства (МЭА) ОЭСР (рис. А-2), во многом совпадают с прогнозами МАГАТЭ 2010 года, и при "сценарии сохранения нынешней политики" совокупные общемировые установленные мощности достигнут к 2030 году 535 ГВт (эл.) (по сравнению с 546 ГВт (эл.) по низкому прогнозу МАГАТЭ), а при сценарии 450 чнм², мощности АЭС составят к 2030 году 760 ГВт (эл.) (что близко к 803 ГВт (эл.) по высокому прогнозу МАГАТЭ).

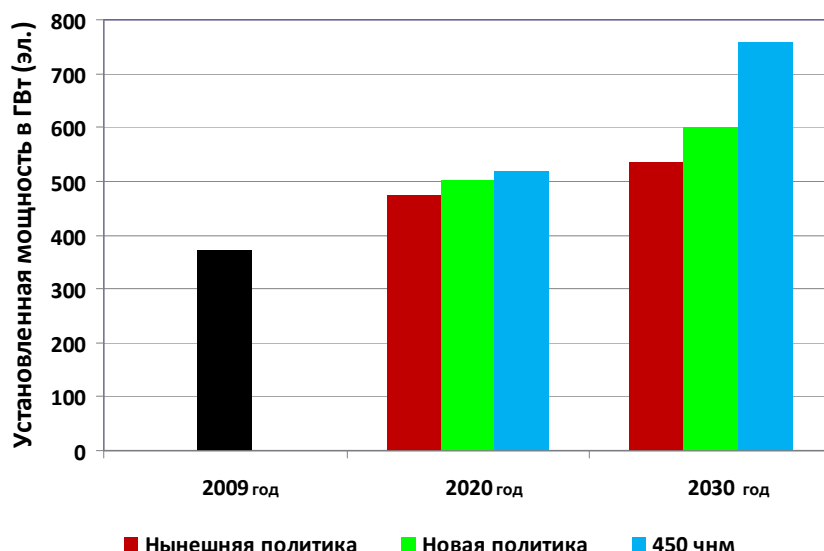


РИС. А-2. Влияние различной политики на мировое развитие ядерной энергетики в 2009-2030 годах (источник: 2010 World Energy Outlook).

А.3. Топливный цикл³

А.3.1. Ресурсы и производство урана

37. В 2010 году АЯЭ/ОЭСР и МАГАТЭ опубликовали последнее издание "Красной книги" "Уран-2009: ресурсы, производство и спрос". Согласно оценкам установленные традиционные ресурсы урана, которые могут быть извлечены с затратами менее 130 долл./кг U, составляют 5,4 млн. тонн урана (Мт U). Это на 1,2% меньше оценок предыдущего издания. Кроме того, по оценкам, насчитывалось 0,9 Мт U установленных традиционных ресурсов, извлекаемых с затратами от 130 до 260 долл./кг U, в результате чего совокупный объем установленных традиционных ресурсов, извлекаемых с затратами менее 260 долл./кг U, составляет 6,3 Мт U. Для справки, до середины 2010 года цена спот на уран колебалась в районе 105-115 долл./кг U, после чего она резко возросла к концу года до 160 долл./кг U, максимального показателя за два года.

² При сценарии 450 чнм максимальное содержание парниковых газов в атмосфере ограничивается 450 частями на миллион (чнм), что предполагает существенное изменение мировой энергетической системы.

³ Более подробная информация о деятельности Агентства в отношении топливного цикла содержится в соответствующих разделах последнего выпуска ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2010>) и на сайте <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>.

38. Совокупный объем неразведанных ресурсов (прогнозируемых и предположительных запасов), о котором сообщается в "Красной книге", составляет более 10,4 Мт U, что несколько меньше 10,5 Мт U, о которых сообщалось в предыдущем издании (опубликованном в 2008 году). Объем неразведанных традиционных ресурсов по оценкам составляет 6,5 Мт U с затратами на извлечение менее 130 долл./кг U и еще 0,37 Мт U с затратами от 130 до 260 долл./кг U. Сюда входят как ресурсы, которые, как ожидается, будут обнаружены в известных месторождениях или рядом с ними, так и более предположительные запасы, которые, как полагают, существуют на геологически благоприятных, хотя и не разведанных территориях. Имеются также оценки, свидетельствующие о существовании еще 3,6 Мт U предположительных ресурсов, в отношении которых производственные издержки не определены.

39. Ресурсную базу еще более расширяют нетрадиционные ресурсы урана и торий. Нетрадиционные ресурсы включают уран в морской воде и такие ресурсы, из которых уран может извлекаться только в качестве незначительного побочного продукта. В настоящее время о наличии нетрадиционных ресурсов сообщают лишь немногие страны. Согласно прошлым оценкам запасы потенциально извлекаемого урана, связанного с фосфатами, рудами цветных металлов, карбонатитом, черным сланцем и лигнитом, составляют порядка 10 Мт U. По оценкам, мировые ресурсы тория составляют около 6 Мт. Хотя торий используется в качестве топлива на демонстрационной основе, прежде чем его можно будет рассматривать наравне с ураном, требуется еще дальнейшая работа.

40. Данные об общемировых расходах на разведку и разработку месторождений представлены в "Красной книге" только по 2008 год. Они составили в 2008 году в общей сложности 1641 млрд. долл., увеличившись на 133% по сравнению с данными за 2006 год, приведенными в предыдущем издании "Красной книги".

41. В 2009 году производство урана во всем мире превысило 50 770 т U, что на 16% больше показателя 2008 года в объеме 43 800 т U. По оценкам, в 2010 году производство возрастет до 55 000 т U. В 2009 году Австралия, Казахстан и Канада обеспечивали 63% мирового производства, и на эти три страны вместе с Намибией, Нигером, Российской Федерацией, США и Узбекистаном приходилось 93% мирового объема. В Казахстане производство урана в 2009 году увеличилось более чем на 70% по сравнению с 2008 годом, и он превратился в 2009 году в крупнейшего производителя урана в мире (будучи в 2003 году на пятом, а в 2008 году на втором месте). Кроме того, в 2010 году общий объем производства урана в Казахстане, как ожидается, возрастет на 30% по сравнению с 2009 годом. В 2009 году добывать уран начали в Малави (100 т U). В 2010 году объем добычи увеличился до 660 т U.

42. Производство урана в 2009 году приблизительно лишь на 82% покрывало предполагаемые потребности реакторов во всем мире, составлявшие 61 730 т U. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: запасов природного урана, запасов обогащенного урана, урана, переработанного из отработавшего топлива, смешанного оксидного (MOX) топлива с ураном-235, частично замененного плутонием-239, полученным из переработанного отработавшего топлива, и повторного обогащения хвостов обедненного урана (обедненный уран содержит менее 0,7% урана-235). Исходя из оценочных темпов потребления в 2009 году прогнозируемый срок эксплуатации установленных традиционных ресурсов объемом 5,4 Мт U, извлекаемых с затратами менее 130 долл./кг U, составляет примерно 90 лет. Эта цифра достаточно велика по сравнению с аналогичными показателями в отношении запасов другого сырья (например меди, цинка, нефти и природного газа), которых должно хватить на 30-50 лет.

43. Согласно прогнозам 2010 года мировые ежегодные потребности реакторов в уране должны возрасти к 2035 году до 87 370 – 138 165 т U. Прогнозируемые в настоящее время мощности по производству урана из первичных источников, включая существующие, утвержденные, запланированные и перспективные производственные центры, могут удовлетворить прогнозируемый мировой спрос на уран до 2028 года, если исходить из высокого прогноза, или до 2035 года, если исходить из низкого прогноза. В последующий период для производства необходимого топлива для всех реакторов на протяжении всего срока их эксплуатации, в том числе новых реакторов, которые будут подключены к энергосети до 2035 года, потребуются изыскивать дополнительные ресурсы, разрабатывать новые рудники и своевременно расширять добычу на существующих рудниках.

А.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива

44. В 2010 году совокупные мировые мощности по конверсии не претерпели изменений и составили по гексафториду урана (UF_6) около 76 000 тонн природного урана (т U) в год, а по диоксиду урана (UO_2) – 4500 т U в год. Спрос на конверсию UF_6 также оставался стабильным и составлял приблизительно 62 000 т U в год.

45. В настоящее время совокупные мировые мощности по обогащению составляют приблизительно 60 млн. единиц работы разделения (ЕРР) в год, при этом общий спрос составляет приблизительно 45 млн. ЕРР в год. Для замены старых газодиффузионных установок и в ожидании мирового роста ядерной энергетики осуществляется разработка или строительство четырех новых коммерческих установок по обогащению, использующих центрифужное обогащение: завода по обогащению им. Жоржа Бесса II во Франции, Американского центрифужного завода (АЦЗ), установки «Игл Рок» компании Арева и установки компании "ЮРЕНКО Ю-Эс-Эй" (раньше называлась Национальная установка по обогащению (НУО)) в США. В декабре 2010 года началась коммерческая эксплуатация завода им. Жоржа Бесса II, и был произведен первый контейнер урана. Что касается установки компании "ЮРЕНКО Ю-Эс-Эй", то ее коммерческая эксплуатация началась в июне 2010 года. Кроме того, КЯР опубликовала положительный доклад об оценке безопасности в отношении предлагаемой установки по лазерному обогащению мощностью 3-6 млн. ЕРР компании "Глобал лазер энричмент" (ГЛЭ) в штате Северная Каролина. ГЛЭ успешно завершила первоначальный этап программы испытательной петли для технологии обогащения путем разделения изотопов лазерным возбуждением (SILEX).

46. Компания "Джапан ньюклеар фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) рассчитывает начать коммерческую эксплуатацию усовершенствованных центрифужных каскадов на заводе в деревне Роккасё в 2011-2012 годах и к 2020 году увеличить нынешние мощности со 150 000 до 1,5 млн. ЕРР. В 2010 году Армения и Украина присоединились к Казахстану и Российской Федерации, став членами Международного центра по обогащению урана (МЦОУ), созданного в 2007 году в Ангарске в Российской Федерации. Аргентина проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области новых технологий обогащения, таких, как центрифужное и лазерное обогащение, и одновременно модернизирует свой газодиффузионный потенциал в Пильканиеу. Модернизированный завод в Пильканиеу, как ожидается, будет введен в эксплуатацию в 2011 году.

47. В 2010 году были введены в эксплуатацию три установки по деконверсии: две в США (в Падьюке, шт. Кентукки, и Портсмуте, шт. Огайо) и одна (W-ЭХЗ в Красноярске) в Российской Федерации. В настоящее время совокупная мировая мощность таких предприятий составляет около 60 000 т в год.

48. В декабре 2010 года Совет управляющих утвердил создание банка низкообогащенного урана (НОУ) МАГАТЭ, который будет принадлежать Агентству и управляться им в качестве гарантирующего запаса топлива для выработки электроэнергии на АЭС. В случае возникновения перебоев с поставками НОУ государству-члену и невозможности их восстановления на коммерческом рынке, в соответствии с межгосударственными договоренностями или каким-либо иным подобным образом государство-член для обеспечения поставок НОУ может обратиться в банк НОУ МАГАТЭ. Создание банка НОУ – это дополнительный механизм обеспечения поставок ядерного материала в качестве топлива и соответствует соглашению, которое было утверждено Советом в ноябре 2009 года и подписано Агентством с Российской Федерацией в марте 2010 года, о создании запаса НОУ для поставок государствам – членам МАГАТЭ. В декабре 2010 года Российская государственная корпорация по атомной энергии (Росатом) полностью завершила формирование запаса в запланированном объеме 120 т НОУ на ядерном объекте в Ангарске в Сибири и поставила его под гарантии МАГАТЭ.

49. Совокупные мировые мощности по изготовлению топлива составляют около 13 000 т U в год (обогащенного урана) по топливу легководных реакторов (LWR) и около 4 000 т U в год (природного урана) по топливу корпусных тяжеловодных реакторов (PHWR). Совокупный спрос также оставался стабильным и составлял приблизительно 10 400 т U в год. В Китае, Республике Корея и США ведется расширение существующих мощностей, а в Казахстане и Украине планируется сооружение новых установок по изготовлению топлива. Запланированная установка в Казахстане предполагаемой мощностью 400 т U в год является совместным предприятием компаний АРЕВА и "Казатомпром", и ее сооружение планируется завершить в 2014 году.

50. Нынешние производственные мощности по изготовлению смешанного уран-плутониевого оксидного (МОХ) топлива составляют около 250 тонн тяжелого металла (т ТМ), основные установки расположены в Индии, Соединенном Королевстве и Франции, а несколько установок меньшей мощности имеется в Российской Федерации и Японии. В октябре 2010 года компания ДжНФЛ начала сооружение новой установки по изготовлению МОХ-топлива (мощностью 130 т ТМ МОХ) в деревне Роккасё, префектура Аомори. Строительство планируется завершить в марте 2016 года. Аналогичную установку планируется построить в Северске (Томске-7) в Российской Федерации. Российская Федерация планирует также построить коммерческую установку по изготовлению МОХ-топлива мощностью 60 т в год и установку мощностью 14 т в год по производству плотного смешанного нитридного топлива для реакторов на быстрых нейтронах. В Соединенном Королевстве на заводе по производству МОХ-топлива в Селлафилде сооружается новая установка по изготовлению МОХ-топлива, что позволит выполнять новые долгосрочные контракты на поставку МОХ-топлива. В США создаются дополнительные мощности по изготовлению МОХ-топлива в целях использования избыточного оружейного плутония. В 2010 году МОХ-топливо начали использовать на энергоблоках "Иката-3" и "Фукусима-Дайити-3" в Японии. В настоящее время во всем мире МОХ-топливо используется на 33 тепловых реакторах.

А.3.3. Конечная стадия топливного цикла

51. Общий объем отработавшего топлива, которое было выгружено во всем мире, составляет приблизительно 320 000 т ТМ, из которых приблизительно 95 000 т ТМ уже переработано, а около 225 000 т ТМ помещены в бассейны хранения отработавшего топлива при реакторах или находятся на вне реакторных (ВР) хранилищах. ВР хранилища регулярно расширяются. Совокупные мировые мощности предприятий по переработке составляют около 5000 т ТМ в год. Заключительные эксплуатационные испытания начались на новом заводе по переработке в Роккасё в Японии, ввод в строй которого в настоящее время намечен на 2012 год. В Китае

ведется строительство экспериментального завода по переработке, и в конце 2010 года были завершены горячие испытания. Китай планирует также построить коммерческую установку по переработке и процесс выбора площадки все еще продолжается.

52. На АЭС "Циньшань" в Китае началась демонстрация прямого использования рециклированного урана в качестве топлива в реакторе CANDU.

53. В Индии ведется строительство первого комбината топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах (FRFCF), который включает завод по изготовлению и переработке топлива, завод по изготовлению подборок для активной зоны реакторов, завод по переработке оксида урана и завод по обращению с отходами и который будет обслуживать будущий прототипный реактор-размножитель на быстрых нейтронах (PFBR) мощностью 500 МВт.

А.3.4. Обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации

54. Объем радиоактивных отходов в мире, о хранении которых сообщалось в 2008 году (самые свежие из имеющихся данных), составлял 17,6 млн. кубических метров⁴ (таблица А-2). Объем утилизированных радиоактивных отходов составил около 640 000 кубических метров в год, главным образом это низкоактивные и очень низкоактивные отходы (НАО и ОНАО, обозначаемые ниже как НСАО-КЖ⁵). До 2008 года включительно было утилизировано в общей сложности приблизительно 24,6 млн. кубических метров отходов. Объем ежегодно накапливаемых обработанных высокоактивных отходов (ВАО) является довольно постоянным, и в среднем в мире накапливается примерно 850 кубических метров в год.

Таблица А-2. Оценка объема радиоактивных отходов в мире в 2008 году

Класс отходов	Хранение [кубических метров]	(Совокупная утилизация) [кубических метров]
<i>Короткоживущие низко- и среднеактивные отходы (НСАО-КЖ)</i>	3 618 000	24 349 000
<i>Долгоживущие низко- и среднеактивные отходы (НСАО-ДЖ)</i>	13 609 000	208 000
<i>Высокоактивные отходы (ВАО)</i>	384 000	4 000

Источник: NEWMDB, 2010 год.

⁴ Оценка подготовлена с использованием Сетевой базы данных по обращению с отходами (NEWMDB) и других открытых источников в отношении стран, не представляющих информации в NEWMDB.

⁵ Информация об инвентарном количестве в настоящее время сообщается в NEWMDB в соответствии с замененными рекомендациями в отношении классификации отходов, содержащимися в документе Safety Series No. 111-G-1.1, *Classification of Radioactive Waste* (1994) (Серия изданий по безопасности, № 111-G-1.1, "Классификация радиоактивных отходов" (1994 год)). Они недавно были заменены новой схемой классификации, приведенной в документе General Safety Guide No. GSG-1, *Classification of Radioactive Waste* (2009) (Общее руководство по безопасности, № GSG-1, "Классификация радиоактивных отходов" (2009 год)). Данные в NEWMDB в настоящее время приводятся в соответствие с новой схемой классификации.

55. Высокоактивные отходы по-прежнему остекловываются в нескольких странах в неохлаждаемых металлических индукционных плавителях или в керамических электропечах прямого нагрева. Примером прогресса в этой области по-прежнему является использование охлаждаемого металлического индукционного плавителя на заводе R7 на мысе Аг, Франция. Важный рубеж был достигнут в 2009 году в Соединенном Королевстве на заводе по остекловыванию в Селлафилде: было завершено производство 5000-го контейнера с высокоактивными твердыми отходами. Компания ДжНФЛ в 2010 году продолжала сталкиваться с проблемами на ее установке по остекловыванию и была вынуждена отложить еще на два года начало коммерческой эксплуатации завода по переработке в Роккасё. В Ханфорде, США, завершена почти половина работ по строительству крупнейшего в мире завода по обработке отходов (ЗОО). На ЗОО стоимостью 12 млрд. долл., который, как ожидается, будет введен в эксплуатацию в 2019 году, будет обрабатываться и стабилизироваться около 200 000 кубических метров самых разных сложных отходов прошлой деятельности посредством предварительной обработки с последующим остекловыванием.

56. В настоящее время более 50 государств-членов рассматривают альтернативные возможности или приступили к разработке вариантов захоронения с учетом особенностей накопившихся у них отходов. Рассматриваемые варианты включают: захоронение ВНАО в хранилищах траншейного типа (Франция, Испания), захоронение отходов радиоактивных материалов природного происхождения (РМПП) (Малайзия, Сирийская Арабская Республика) или НАО в засушливых районах (Исламская Республика Иран, Южная Африка, США); создание приповерхностных инженерно-технических структур для НАО (Бельгия, Болгария, Литва, Румыния, Словения); захоронение на средних глубинах НСАО (Венгрия, Республика Корея, Япония) и отходов РМПП (Норвегия); а также захоронение в скважинах НАО (США) и изъятых из употребления закрытых источников (Гана, Исламская Республика Иран, Филиппины). Финляндия и Швеция готовят документацию для выдачи лицензий на строительство глубинных геологических хранилищ отработавшего топлива.

57. В январе 2010 года в Словении было принято постановление о выборе площадки для хранилища НСАО, расположенной около единственной существующей в Словении АЭС. Строительство, как планируется, начнется через два-три года. В Канаде в мае 2010 года Организация по обращению с ядерными отходами (ООЯО) путем направления заинтересованным общинам приглашений высказывать предложения приступила к процессу выбора постоянной площадки для глубинного геологического хранилища для отработавшего ядерного топлива. В Германии на бывшей железнорудной шахте «Конрад» в земле Нижняя Саксония началось строительство подземного хранилища для НСАО. В Швеции Шведская компания по обращению с ядерным топливом и отходами (СКБ) подала, в марте 2011 года, заявку на строительство геологического хранилища для окончательного захоронения отработавшего топлива, которое должно быть размещено в Эстхаммаре. Строительство хранилища ядерного топлива должно начаться в 2015 году, а операции по захоронению, как ожидается, начнутся в 2025 году. На площадке Олкилуото в Финляндии к концу 2010 года к установке "Онкало" был вырыт туннель доступа длиной 4570 м до глубины окончательного захоронения 434 м. Первоначально установка "Онкало" будет функционировать в качестве подземной установки для характеристики скальных пород с целью обеспечения уверенности в пригодности этой площадки. Затем туннель доступа и другие подземные структуры будут использоваться для захоронения. Как ожидается, заявка на лицензию на строительство будет подана в 2012 году, а процесс оформления лицензии на эксплуатацию начнется около 2020 года.

58. В США в январе 2010 года была учреждена Комиссия независимых экспертов по ядерному будущему Америки после того, как правительство США приняло в 2009 году решение не продолжать работы по строительству глубинного геологического хранилища "Юкка-Маунтин". Эта комиссия, которая была создана с целью предоставления рекомендаций относительно разработки долгосрочного решения по обращению с отработавшим ядерным топливом и ядерными отходами, планирует рассматривать вопросы о временном хранении отработавшего топлива в течение промежутков времени от 120 до 300 лет. Первый промежуточный доклад планируется выпустить в июле 2011 года, а заключительный доклад Комиссии ожидается в 2012 году. Кроме того, в октябре 2010 года председатель КЯР приказал своим сотрудникам прекратить рассмотрение заявки на лицензию на строительство хранилища в районе горы Якка.

59. Французское управление по ядерной безопасности (АСН) представило новое издание национального плана по обращению с радиоактивными материалами. Этот план включает проект долгосрочного геологического захоронения с возможностью перезахоронения высокоактивных и среднеактивных отходов, а также проект долгосрочного захоронения низкоактивных радиоактивных отходов на малой глубине. Во Франции продвигается подготовка к строительству ее геологического хранилища для ВАО; эта установка будет также вмещать национальные среднеактивные отходы (САО).

60. Совместно с Агентством было начато осуществление многих двусторонних и многосторонних инициатив с целью усиления контроля над закрытыми радиоактивными источниками, а также их удаления из небезопасных и ненадежных мест нахождения. Особые проблемы связаны с высокоактивными источниками, поскольку значительные ограничения не допускают их легкого перемещения. Передвижная горячая камера, – технология, разработанная Южноафриканской ядерно-энергетической корпорацией ("Некса") по контракту с Агентством, была размещена в 2010 году в Уругвае с целью извлечения 14 компонентов с высокоактивными источниками из устройств, в которых они содержались, и их упаковки в транспортные контейнеры для возвращения в страну происхождения.

61. В ноябре 2010 года Европейская комиссия опубликовала предложение в отношении директивы Совета об обращении с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, в котором, среди прочего, государствам – членам ЕС предлагается представить национальные программы с указанием, когда и где и как будут строиться хранилища для окончательного захоронения, цель которых – гарантировать соблюдение самых строгих норм безопасности, и каким образом будет организовано управление ими.

Снятие с эксплуатации

62. В 2010 году мировые статистические данные о снятии с эксплуатации энергетических реакторов значительно не изменились. По состоянию на конец года, были остановлены 124 энергетических реактора. Из этого числа, 15 реакторов были полностью демонтированы, 52 – находились в процессе демонтажа или планирования к краткосрочному демонтажу, 48 – в режиме безопасной консервации, 3 – под укрытием, и для 6 – стратегия снятия с эксплуатации определена еще не была.

63. Процесс демонтажа исследовательского реактора "Moata" Австралийской организации по ядерной науке и технике, первого реактора, который должен быть выведен из эксплуатации в Австралии, начался в июле 2009 года, в результате чего были предварительно демонтированы и удалены все внутренние компоненты. Демонтаж биологической защиты начался в марте 2010 года и завершился в сентябре 2010 года. Снятие с эксплуатации реактора типа "Argonaut" мощностью 100 кВт (тепл.) было успешно завершено в рамках согласованного бюджета (4,2 млн. австралийских долларов) и общей двухлетней продолжительности осуществления

данного проекта, начиная с получения лицензии на снятие с эксплуатации до освобождения площадки.

64. В Центральной и Восточной Европе, снятие с эксплуатации остановленных реакторов стало активизироваться в результате осуществления проектов в Болгарии, Литве, Словакии и Украине. Все АЭС в Центральной и Восточной Европе либо подготовили предварительные планы снятия с эксплуатации, либо близки к их завершению, в соответствии с рекомендациями Агентства.

65. В настоящее время осуществляются инициативы по решению проблем, связанных с радиоактивными отходами прежней деятельности, которые образовались на ранних этапах развития ядерных научных, промышленных и оборонных технологий. Созданная в 1996 году Контактная экспертная группа Агентства доказала, что является эффективным форумом для обмена информацией и координации программ по ядерному наследию в Российской Федерации. По состоянию на конец 2010 года Российская Федерация, при значительной помощи со стороны международных партнеров, которые оплатили около одной трети финансирования данной программы, выгрузила топливо из 191 ядерной подводной лодки и демонтировала их. В настоящее время четыре подводные лодки демонтируются и еще пять, как ожидается, будут демонтированы к концу 2012 года. Реакторные блоки подводных лодок, обычно содержащие два реактора с выгруженным топливом, герметизируются и помещаются в хранилище для долгосрочного хранения. Идет работа по созданию двух региональных центров по кондиционированию и долгосрочному хранению радиоактивных отходов. Кроме того, осуществляется также совместная программа по утилизации мощных радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ), которые использовались для целей навигации вдоль побережья Российской Федерации, и было утилизировано большинство из 870 российских РИТЭГ, при этом остается утилизировать только 248.

А.4. Безопасность⁶

66. Показатели безопасности, подобные тем, которые опубликованы Всемирной ассоциацией организаций, эксплуатирующих АЭС (ВАО АЭС), и воспроизведены на рисунках А-3 и А-4, в 90-х годах прошлого века значительно улучшились. В последние годы в большинстве областей ситуация стабилизировалась, а в 2009 году имели место дополнительные улучшения. Однако разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, так что существуют широкие возможности для дальнейшего улучшения ситуации. Более подробная информация по безопасности приводится в "Обзоре ядерной безопасности – 2010", где сообщается и о недавних событиях, имеющих отношение ко всем ядерным применениям, вплоть до конца 2010 года.

⁶ Более подробная информация о деятельности Агентства в области ядерной безопасности содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2010/>) и на веб-сайте <http://www-ns.iaea.org/>.

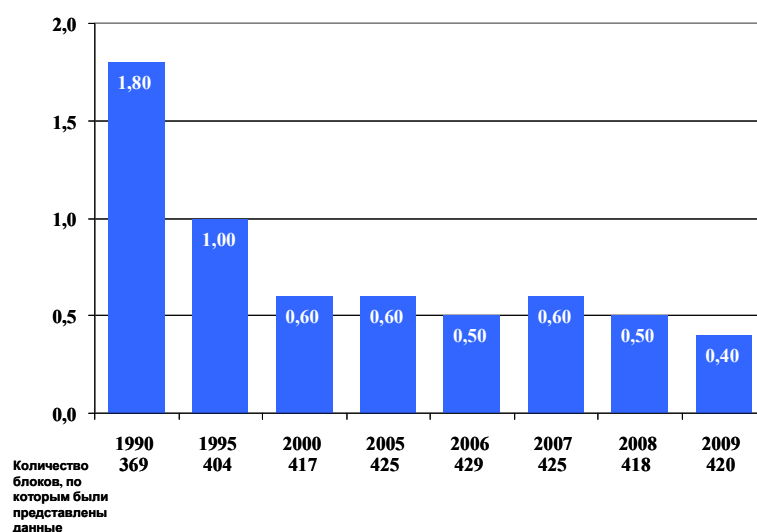


РИС. А-3. Число незапланированных автоматических аварийных остановов на каждые 7000 часов работы в критическом режиме (источник: ВАО АЭС. Оценочные показатели за 2009 год (WANO 2009 Performance Indicators)).

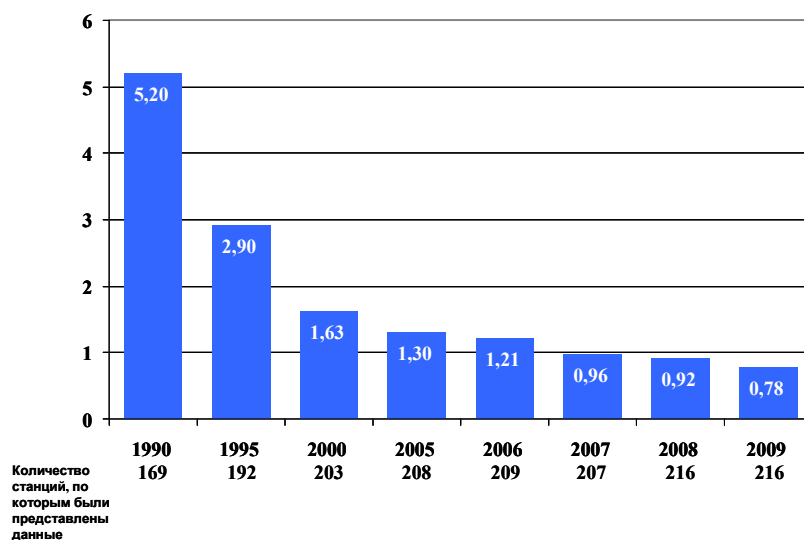


РИС. А-4. Число связанных с безопасностью промышленных аварий на АЭС на 1 000 000 человеко-часов работы (источник: ВАО АЭС. Оценочные показатели за 2009 год (WANO 2009 Performance Indicators)). Примечание: эти инциденты не обязательно являются радиологическими по характеру.

В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

В.1. Усовершенствованные ядерные системы⁷

В.1.1. Водоохлаждаемые реакторы⁸

67. В области реакторов малой и средней мощности Аргентина начала подготовку к строительству прототипного энергетического реактора мощностью 25 МВт (эл.) на основе "концепции CAREM". Ожидается, что этот реактор будет введен в эксплуатацию к середине десятилетия. В настоящее время проводятся предварительные технико-экономические исследования с целью строительства блока мощностью 150 МВт (эл.).

68. В 2010 году Китай начал строительство восьми новых реакторов. Они включают эволюционные реакторы с водой под давлением (PWR) мощностью 610 МВт (эл.) и 1000 МВт (эл.), основанные на существующей технологии эксплуатации станций, а также более новые проекты AP-1000 и проекты европейского реактора с водой под давлением (EPR). В настоящее время Китай разрабатывает проекты реакторов CAP-1400 и CAP-1700, которые представляют собой более масштабные варианты проекта AP-1000. В то же время, Китай вкладывает средства в исследования проекта китайского сверхкритического водоохлаждаемого реактора (SCWR).

69. Во Франции компания "АРЕВА" продолжает поставлять на рынок реактор EPR мощностью 1600+ МВт (эл.) для внутренних и международных применений. Компания "АРЕВА" совместно с компанией "Мицубиси хэви индастриз", Япония, разрабатывает также реактор PWR АТМЕА мощностью 1100+ МВт (эл.), а в партнерстве с германской фирмой "Е.ОН" - реактор с кипящей водой (BWR) KERENA мощностью 1250+ МВт (эл.).

70. В 2010 году Япония начала строительство нового усовершенствованного реактора с кипящей водой (ABWR). Компания "Хитати" продолжает разработку вариантов реактора ABWR мощностью 600, 900 и 1700 МВт (эл.), а также реактора ABWR-II мощностью 1700 МВт (эл.). Компания "Мицубиси хэви индастриз" разработала для рынка США вариант усовершенствованного реактора с водой под давлением (APWR) мощностью 1700 МВт (эл.) – US-APWR, который в настоящее время находится в процессе сертификации конструкции в КЯР. Европейский вариант реактора APWR, EU-APWR, также находится в стадии разработки и будет оценен с точки зрения его соответствия требованиям европейских энергокомпаний. Кроме того, Япония продолжает также разработку проекта инновационного сверхкритического водоохлаждаемого реактора.

71. В 2010 году в Республике Корея был подключен к энергосистеме новый отечественный реактор OPR-1000. Строительство первого усовершенствованного энергетического реактора APR-1400 продолжается в соответствии с планом, и в конце 2009 года были заключены контракты на строительство еще четырех реакторов APR-1400 в Объединенных Арабских Эмиратах. Республика Корея разрабатывает европейский вариант реактора APR-1400, EU-APR-1400, который будет оценен с точки зрения его соответствия требованиям

⁷ Более подробная информация об осуществляемой Агентством деятельности в отношении усовершенствованных ядерных реакторов содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2010/>).

⁸ Подробная техническая информация о всех проектах усовершенствованных реакторов, упомянутых в настоящем разделе, содержится в Информационной системе по усовершенствованным реакторам (АРИС) Агентства на веб-сайте <http://aris.iaea.org>.

европейских энергокомпаний. Эта страна разрабатывает также американский вариант реактора, US-APR-1400, который будет представлен КЯР для сертификации конструкции. Параллельно, в 2010 году продолжалась разработка реактора APR+ мощностью 1500 МВт (эл.), а также было объявлено о начале проектирования реактора APR-1000. В области реакторов малой и средней мощности Республика Корея активизировала усилия по разработке интегрального реактора PWR SMART мощностью 330 МВт (тепл.).

72. В 2010 году в Российской Федерации началось строительство еще двух реакторов, включая реактор ВВЭР-1200. Кроме того, было объявлено о планах разработки реактора ВВЭР-1200А, а также ВВЭР-600 и ВВЭР-1800, на основе нынешнего проекта ВВЭР-1200. К тому же, Российская Федерация работает над созданием инновационного сверхкритического водоохлаждаемого реактора ВВЭР-СК и продолжает строительство плавучего реактора малой мощности типа КЛТ 40С для специальных применений.

73. В США КЯР продолжает процесс сертификации проектов пяти усовершенствованных водоохлаждаемых реакторов: AP-1000, US-APWR, US-EPR, «Вестингауз» SMR и экономичного упрощенного реактора с кипящей водой (ESBWR). В настоящее время КЯР рассматривает вопрос о сертификации измененного проекта реактора AP-1000, который получил сертификацию в 2006 году. В этой серии реактор ESBWR был первым, получившим одобрение (октябрь 2010 года). Кроме того, ожидается, что в ближайшем будущем КЯР для сертификации будут также представлены проекты реактора US-APR1400, интегрального реактора PWR mPower мощностью 125 МВт (эл.) компании "Бэбкок энд Уилкокс" и интегрального реактора PWR мощностью 45 МВт (эл.) корпорации "НьюСкейл Пауэр".

74. В Канаде в 2010 году Комиссия по ядерной безопасности Канады (КЯБК) завершила первый этап предпроектного рассмотрения конструкции усовершенствованного реактора CANDU-6 мощностью 700 МВт (эл.), поколения III, которая включает несколько инноваций, заимствованных из проекта CANDU-9, а также из недавнего опыта разработки энергоблоков CANDU-6, построенных в Китае и Республике Корея. Осуществляемые в настоящее время работы на втором этапе предпроектного рассмотрения конструкции реактора ЕС6 должны быть завершены в начале 2012 года. Компания "Атомик энерджи оф Кэнада лимитед" (АЭКЛ) продолжает также разрабатывать усовершенствованный реактор CANDU (ACR-1000), конструкции поколения III+, в котором в качестве мер по компенсации использования легкой воды в качестве теплоносителя первого контура применяются высокая степень стандартизации компонентов и низкообогащенный уран. В январе 2011 года КЯБК завершила третий этап предпроектного рассмотрения конструкции усовершенствованного реактора CANDU (ACR-1000), в результате чего он стал первым усовершенствованным ядерным энергетическим реактором, который прошел все три этапа такого рассмотрения конструкции в КЯБК. АЭКЛ ведет также активные разработки водо-водяного сверхкритического реактора CANDU, конструкции поколения IV, которые повысят ведущую роль Канады в осуществлении программы по сверхкритическим водоохлаждаемым реакторам (SCWR) в рамках Международного форума "Поколение IV".

75. В Индии в 2010 году был подключен к энергосети новый тяжеловодный реактор с водой под давлением (PHWR) мощностью 220 МВт (эл.). Индия поставляет на рынок этот реактор для строительства в странах с небольшими энергосетями. В стадии строительства находятся еще шесть реакторов, в том числе один PHWR мощностью 220 МВт (эл.), два эволюционных PHWR мощностью 700 МВт (эл.), два ВВЭР-1000 и один прототипный быстрый реактор-размножитель мощностью 500 МВт (эл.). Ядерно-энергетическая корпорация Индии (NPCIL) разработала эволюционный реактор PHWR мощностью 700 МВт (эл.). В 2010 году было начато осуществление четырех проектов по строительству восьми энергоблоков этого реактора PHWR мощностью 700 МВт (эл.). В Центре атомных исследований им. Бхабхи (ЦАИБ) завершается

проектирование усовершенствованного тяжеловодного реактора (AHWR) мощностью 300 МВт (эл.), в котором будет использоваться торий с тяжеловодным замедлителем, кипящий легководный теплоноситель в вертикальных напорных каналах и пассивные системы безопасности.

В.1.2. Системы на быстрых нейтронах

76. В Китае 21 июля 2010 года впервые достиг критичности китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) бассейнового типа мощностью 65 МВт (тепл.) (20 МВт (эл.)). В настоящее время осуществляется начальная программа исследования физических свойств CEFR.

77. Значительно продвинулись работы по строительству индийского прототипа быстрого реактора-размножителя (PFBR) мощностью 500 МВт (эл.) в Калпаккаме: установлены защитная, первичная и внутренняя оболочки. Реакторное здание закрыто. Ввод в эксплуатацию планируется в конце 2012 года – начале 2013 года.

78. В мае 2010 года Япония осуществила повторный пуск прототипного быстрого реактора-размножителя мощностью 280 МВт (эл.). Начались подтверждающие испытания.

79. В Российской Федерации продолжается строительство быстрого реактора БН-800 в Белоярске. Почти все компоненты уже заказаны и их изготовление значительно продвинулось вперед. Ввод в эксплуатацию запланирован на 2013 год.

80. Бельгия создала в рамках Евратома группу специалистов для выполнения проектно-конструкторских работ по подкритическому экспериментальному быстрому реактору MYRRHA (многоцелевому гибриднему исследовательскому реактору для высокотехнологических применений). В 2010 году правительство Бельгии выделило на период до 2014 года 60 млн. евро для финансирования первого этапа проекта MYRRHA. Согласно оценкам, общая стоимость проекта, который пользуется поддержкой Евратома, Европейской комиссии, Европейского стратегического форума по научно-исследовательским инфраструктурам и Европейской промышленной инициативы по созданию ядерной энергетики с устойчивой ресурсной базой, составляет 960 млн. евро. Для тестирования мониторинга подкритичности была построена экспериментальная установка GUINEVERE, обеспечивающая сопряжение ускорителя дейтронов непрерывного действия с титаново-третиевой мишенью, установленной в подкритической размножающей системе на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем. Ввод установки GUINEVERE в эксплуатацию запланирован в 2011 году.

В.1.3. Газоохлаждаемые реакторы

81. В Китае правительство одобрило план строительства демонстрационного высокотемпературного газоохлаждаемого реактора. В настоящее время идет рассмотрение лицензии для этого проекта, и первая заливка бетона ожидается в 2011 году.

82. В 2010 году в Южной Африке, которая считается лидирующей страной в строительстве высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, в результате, в частности, финансовых ограничений, вызванных глобальным финансовым экономическим кризисом, были свернуты планы в отношении модульного реактора с шаровыми твэлами (PBMR). Данный проект будет тщательно рассмотрен и изучен с целью охраны интеллектуальной собственности и научных достижений до принятия правительством решения относительно дальнейших планов.

83. В Японии были завершены более строгие тесты высокотемпературного реактора для технических испытаний (HTTR), которые в общей сложности длились 90 дней, причем 50 дней из них – при температуре 950° С. Правительство Японии изучает технико-экономическое

обоснование сопряжения реактора HTTR с системой производства водорода с целью маломасштабного производства водорода.

84. В США на усовершенствованном испытательном реакторе (ATR) в Национальной лаборатории шт. Айдахо продолжаются испытания безопасности трехструктурно-изотропического топлива (TRISO-топлива), измеряемые отказами топлива в течение длительных периодов облучения. Работа по проведению послереакторных исследований началась на первом экспериментальном топливном элементе (AGR-1), а второй экспериментальный топливный элемент (AGR-2) был загружен в ATR в середине 2010 года. Осуществление проекта АЭС следующего поколения (NGNP) было немного задержано ввиду того, что концептуальные проектно-конструкторские исследования завершились в начале 2011 года. В целом, основное внимание в рамках NGNP уделяется разработке применений высокотемпературного технологического тепла с температурами на выходе из реактора выше 750°C. В 2011 году работа будет сосредоточена на установлении партнерских отношений государственных и частных учреждений с целью начала проектирования, лицензирования и строительства демонстрационного реактора.

85. Республика Корея в течение прошедших шести лет вкладывала средства в ряд испытательных установок для проведения инженерно-технических испытаний систем и компонентов для высокотемпературных реакторов, сопряженных с установкой для производства водорода. Планируется также использование технологического тепла, при этом ряд потребителей промышленного тепла взаимодействуют с ядерным исследовательским сообществом с целью нахождения оптимальных методов производства тепла и водорода с помощью высокотемпературных реакторов. Выбор реакторной концепции, как планируется, должен состояться к 2015 году, когда будут завершены испытания большинства других систем. Решительную поддержку со стороны как промышленности, так и правительства получает проект по развитию и демонстрации производства водорода с помощью ядерной энергии (NHDD).

В.1.4. ИНПРО и МФП

86. Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО), в рамках которого государствам-членам оказывается поддержка в разработке и развертывании устойчивых ядерно-энергетических систем, отметил в 2010 году свою 10-ю годовщину и принял в свои ряды нового участника - Польшу, в результате чего общее число его членов увеличилось до 32. На Форуме для диалога в рамках ИНПРО, который дважды проводился в 2010 году, была поддержана дискуссия по самым различным темам, проводившаяся между заинтересованными сторонами на всех уровнях развития ядерных знаний. Проводились две оценки ядерно-энергетических систем (ОЯЭС), соответственно Беларусь и Казахстаном, и в рамках пакета вспомогательных материалов ОЯЭС была выпущена публикация МАГАТЭ "Введение в использование методологии ИНПРО для оценки ядерно-энергетических систем". В 2010 году было завершено осуществление двух совместных проектов "Устойчивость с точки зрения распространения: анализ путей приобретения/переключения (PRADA)" и "Дальнейшее изучение топливного цикла $^{233}\text{U}/\text{Th}$ (ThFC)". В ответ на возросший интерес государств-членов к совместному моделированию глобальных и региональных тенденций в развитии ядерной энергетики в рамках проекта сотрудничества по теме "Глобальная архитектура инновационных ядерных систем на основе тепловых и быстрых реакторов, включая замкнутые топливные циклы" (GAINS) продолжалось проведение методологических исследований путем моделирования стратегий перехода от современных к будущим ядерно-энергетическим системам.

87. Посредством системы контрактов и соглашений Международный форум "Поколение IV" (МФП) координирует исследовательскую деятельность в области шести ядерно-энергетических систем следующего поколения, выбранных в 2002 году и описанных в "Дорожной карте технологий для ядерно-энергетических систем Поколения IV", – газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах (GFR), быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем, реакторов на солевых расплавах, реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (SFR), надкритических водоохлаждаемых реакторов (SCWR) и сверхвысокотемпературных реакторов (VHTR). В рамках шести отобранных систем используются различные технологии реакторов, преобразования энергии и топливного цикла. Их проекты включают спектры характеристик тепловых реакторов и реакторов на быстрых нейтронах, замкнутого и открытого топливных циклов, а также широкий диапазон мощностей реакторов - от весьма малой до весьма большой. В зависимости от их соответствующих степеней технической зрелости системы "Поколения IV", как ожидается, станут доступными для коммерческого внедрения в период между 2015 и 2030 годами или позднее. В настоящее время МФП насчитывает 13 членов⁹.

88. МАГАТЭ и МФП сотрудничают в областях предотвращения риска и обеспечения безопасности, повышения устойчивости с точки зрения распространения и укрепления физической защиты, применения моделирования и методологий экономической оценки, а также по другим темам, таким, как реакторы малой и средней мощности, использование тория и последствия для топливного цикла. В 2010 году на семинаре-практикуме МАГАТЭ/МФП основное внимание уделялось аспектам эксплуатационной безопасности реакторов SFR, улучшению понимания вопросов безопасности реакторов SFR.

В.2. Термоядерный синтез

89. В июле 2010 года на внеочередном совещании Совета ИТЭР все участники согласовали базовые проектные характеристики для устройства и установки Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). После этого, работы по ИТЭР официально перешли из фазы рассмотрения проекта в фазу строительства. Согласно обновленному графику, первая плазма будет получена в ноябре 2019 года, а дейтериево-тритиевая эксплуатация начнется к марту 2027 года, в результате чего в конечном итоге выходная мощность ИТЭР достигнет 500 МВт.

90. Существенный прогресс был достигнут в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (ЛЛНЛ), США, на Национальной установке по термоядерному зажиганию (НИФ) после ее официального открытия в мае 2009 года. В январе 2010 года был получен импульс с энергией 1 МДж., а в сентябре 2010 года начались комплексные эксперименты по зажиганию с полностью функционирующим полным комплектом детекторов. Эти эксперименты включают базовые научные исследования по физике высокой плотности энергии в таких областях, как астрофизика, ядерная физика, перенос излучения, динамика материалов и гидродинамика.

⁹ Аргентина, Бразилия, Евратом, Канада, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США, Франция, Швейцария, Южная Африка и Япония.

91. В настоящее время режима полной эксплуатации достигли два новых сверхпроводящих токамака средней мощности - Корейский проект по перспективным исследованиям в области сверхпроводящего токамака (KSTAR) в Республике Корея (Рис. В-1) и Усовершенствованный экспериментальный сверхпроводящий токамак (EAST) в Китае. Целью этих длинноимпульсных экспериментов в отношении ИТЭР является исследование относящихся к ИТЭР вопросов, связанных со стационарным режимом эксплуатации. В рамках обоих экспериментов началась эксплуатация в режиме большой мощности с использованием дополнительного нагрева плазмы. Корейский национальный научно-исследовательский институт термоядерного синтеза (НИТС), место нахождения KSTAR, принял у себя в октябре 2010 года 23-ю Конференцию МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза (FEC 2010), на которой были представлены доклады о последних достижениях в рамках всех основных экспериментов по термоядерной плазме.

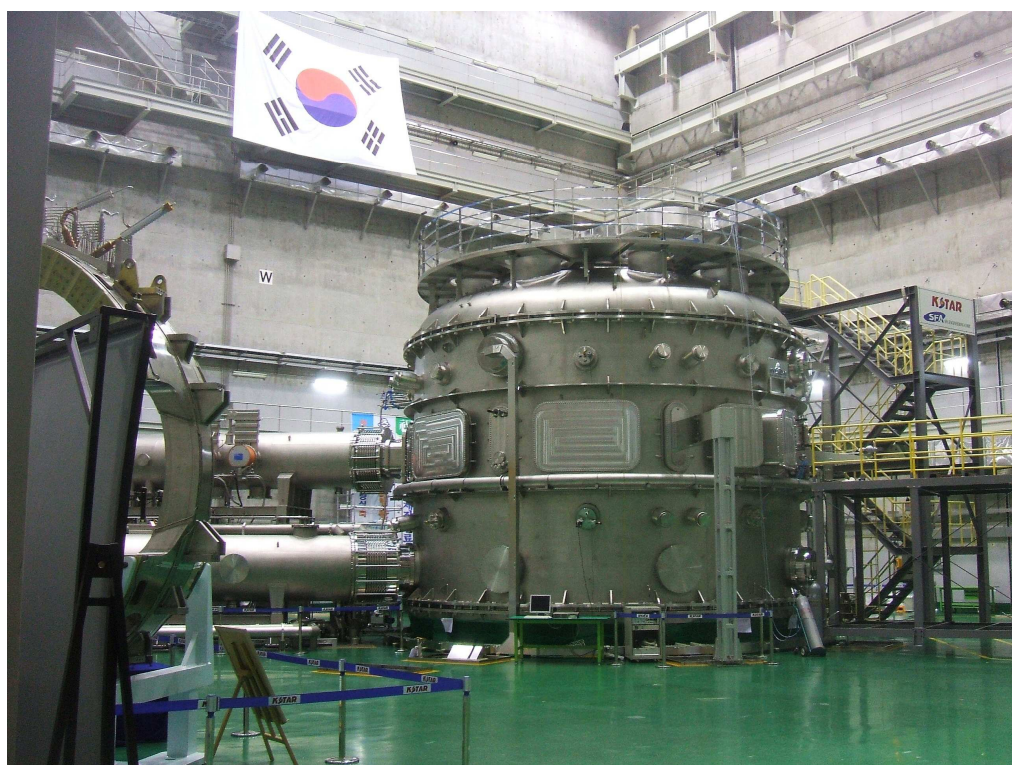


РИС. В-1. Установка KSTAR в НИТС, Тэджон, Республика Корея.

С. Атомные и ядерные данные

92. Основные базы ядерных данных, разработанные Международной сетью центров данных по ядерным реакциям и Международной сетью оценщиков данных о строении и распаде ядра, которые координируются Агентством, постоянно совершенствуются. Особо следует отметить, что в 2010 году веб-поисковая система была усовершенствована с целью доставки данных о ядерных реакциях и их ковариаций в различных форматах, включая графическую визуализацию.

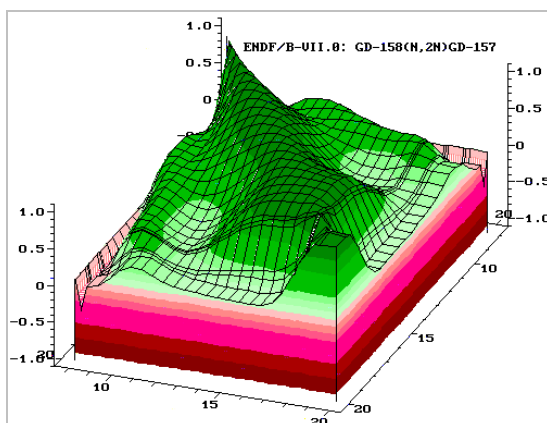


РИС. С-1. Трехмерная диаграмма корреляций по оси энергия-энергия для сечений ядерных реакций.

93. Международная установка по облучению материалов для термоядерного синтеза (IFMIF) представляет собой международный проект, который в настоящее время находится в стадии разработки с целью испытания материалов, предназначенных для использования в демонстрационном реакторе DEMO или коммерческом термоядерном энергетическом реакторе. Недавно Испания приступила к осуществлению национального проекта "TechnoFusión" с целью оказания технической поддержки IFMIF и DEMO для имитации чрезвычайно сильного повреждения материалов под действием легких и тяжелых ионов. Для предоставления ядерных данных этим и другим термоядерным установкам необходимо значительно расширить библиотеку оцененных ядерных данных для термоядерного синтеза 2.1 (FENDL-2.1) с целью включения в нее данных о более высоких энергиях, а также падающих заряженных частицах и оценках связанных с этим погрешностей.

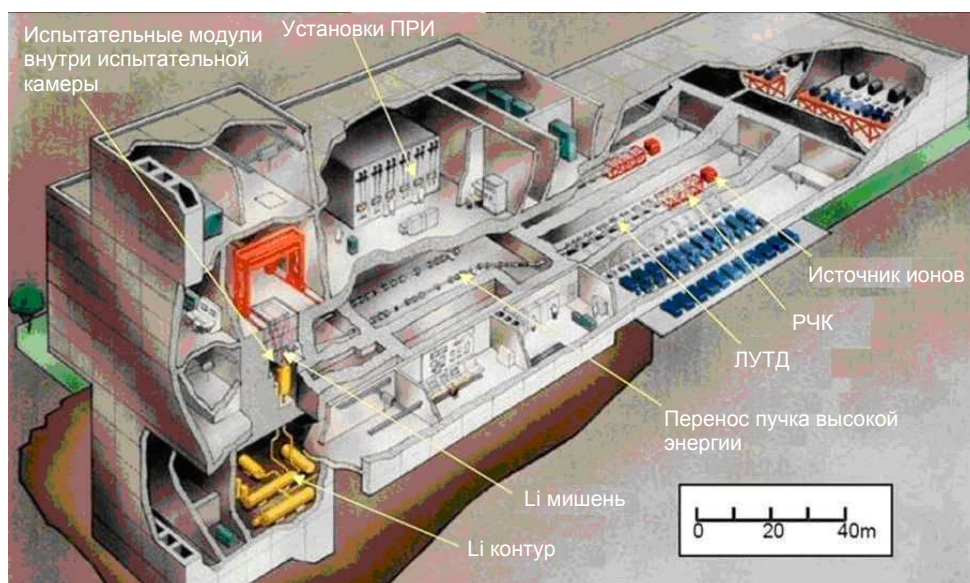


РИС. С-2. Концептуальный проект IFMIF (ПРИ = послереакторное исследование; РЧК = радиочастотный квадруполь; ЛУТД = линейный ускоритель с трубками дрейфа).

94. В 2010 году в Республике Корея была проведена организуемая раз в три года Международная конференция по ядерным данным для науки и техники, в которой приняли участие несколько сотен ученых и инженеров, связанных с производством или использованием ядерных данных для энергии деления ядер и термоядерного синтеза, технологии ускорителей, дозиметрии и экранирования, астрофизики и других смежных областей. Эта конференция, на которой были рассмотрены разработки теоретических моделей, а также вопросы деятельности по измерению, оценке, обработке, проверке пригодности и распространению данных, внесла крупный вклад в усовершенствование ядерных данных.

95. Виртуальный центр атомных и молекулярных данных (ВЦАМД) представляет собой проект продолжительностью 3½ года, который финансируется Седьмой рамочной программой по научным исследованиям и технологическому развитию Европейского союза с целью обеспечения унифицированного сопряжения для почти двух десятков баз атомных и молекулярных данных. В 2010 году было проведено первое ежегодное совещание в рамках данного проекта. Ключевым фактором для обеспечения функциональной совместимости является XML схема для атомов, молекул и твердых частиц (XSAMS), разработка которой координируется Агентством.

96. Рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL) с использованием линейного источника когерентного света (LCLS), который был введен в эксплуатацию в апреле 2009 года, весьма успешно работал в 2010 году и обеспечивал получение экспериментальных атомных данных в ранее недоступных режимах. Пиковая яркость LCLS на 2–3 порядка превышает этот показатель более ранних лазеров на свободных электронах, обеспечивая возможность изучения вещества в таких условиях, которые возникают при взрывах сверхновых звезд, во внутризвездных пространствах и лазерной плазме.



РИС. С-3. LCLS – рентгеновский лазер на свободных электронах.

D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

D.1. Ускорители

97. Достижения в области технологии ускорителей обеспечили возможность разработки подходящих аналитических методов для изучения технологии изготовления новых радиационно-стойких материалов.

98. В 2010 году в Бельгии в рамках проекта MYRRHA была предоставлена финансовая поддержка с целью разработки системы с использованием ускорителей, предназначенной для производства протонов и нейтронов для различных применений в области НИОКР. Ускоритель протонов, сопряженный с подкритической активной зоной быстрого реактора будет, в частности, использоваться для поддержки новых НИОКР в области трансмутации отходов. Начиная с 2022 года, осуществление проекта MYRRHA будет способствовать разработке инновационных решений в области ядерных технологий, медицинских применений, ядерной отрасли и возобновляемых источников энергии.

99. Методы, основанные на использовании рентгеновских лучей, стали главными инструментальными средствами спектроскопии и визуализации во многих областях, от медицинских до инженерно-технических применений. Благодаря достижениям в области фокусировки пучка рентгеновских лучей, обработки проб и автоматизации измерений в синхротронных источниках рентгеновских лучей за последние два года расширилось применение этих методов в поддержку научных исследований, связанных с заражением вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), причинами раковых заболеваний, функционированием нервной системы и клеточной сигнализацией, фотосинтезом и т.д. Например, исследователи, работающие на установке SPring-8 в Японии, разработали метод концентрации света, который позволяет генерировать высокояркие пучки рентгеновских лучей диаметром 7 нм. Это может привести к разработке рентгеновского микроскопа с разрешающей способностью на уровне нанометра, который может использоваться непосредственно для наблюдения за структурой молекул и атомов. Применение технологии следующего поколения

источников рентгеновских лучей, таких, как линейный ускоритель с переработкой энергии (ERL, Корнеллский университет, США), и завершение разработки нескольких рентгеновских лазерных установок на свободных электронах (XFEL) во всем мире открывают новые возможности для изучения поведения атомов и молекул в экстремальных условиях.

100. Рентгеновская микротомография высокого разрешения с использованием жесткого синхротронного излучения, успешно примененная в 2010 году в Европейском центре синхротронного излучения (ЕЦСИ), является в настоящее время единственным методом, способным предоставлять 3-х мерную информацию в поддержку исследований новых материалов для термоядерных реакторов.

101. В рамках исследований по мониторингу окружающей среды, ученые из Лестерского университета и Британской геологоразведочной службы использовали синхротронную установку "Даймонд лайт сорс" для изучения химического видообразования, биодоступности и подвижности частиц пыли и почвы, собранных вокруг заводов по переработке урана.

102. В 2010 году метод количественной химической рентгеновской флюоресценции был впервые использован учеными из лаборатории Центра исследований и реставрации Управления музеев Франции и ЕЦСИ для бесконтактного определения in-situ характеристик семи картин (в том числе Моны Лизы) непосредственно в музее Лувра. Результаты, которые были опубликованы в июле 2010 года, помогли определить и изучить технические приемы, применявшиеся мастерами прошлого, например знаменитую манеру "сфумато", использовавшуюся Леонардо да Винчи.

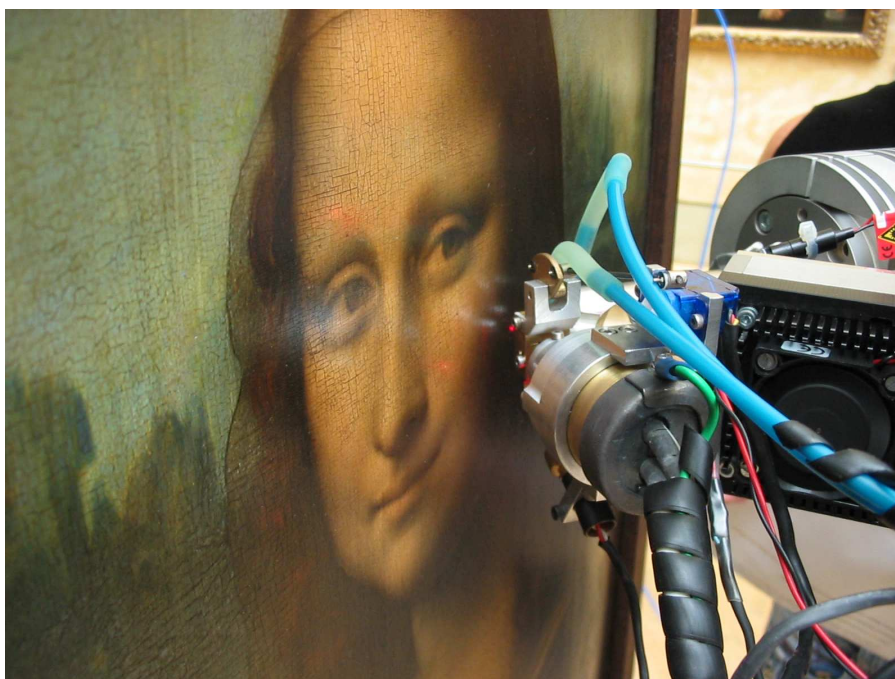


РИС. D-1. Метод рентгеновской флюоресценции был применен для бесконтактного определения in-situ характеристик картины Мона Лиза в музее Лувра, Франция (фотография любезно предоставлена лабораторией Центра исследований и реставрации Управления музеев Франции © C2RMF).

D.2. Исследовательские реакторы

103. В настоящее время более 20 государств-членов рассматривают вопрос о строительстве новых исследовательских реакторов; многие реакторы являются первым шагом в национальной программе внедрения ядерной энергетики параллельно с другими мирными применениями ядерных технологий. В Иордании значительно продвинулась разработка проекта первого многоцелевого исследовательского реактора мощностью 5 МВт и вскоре должно начаться строительство. Аргентина и Бразилия, в рамках своей программы двустороннего сотрудничества, заключили соглашение о разработке и строительстве в каждой из двух стран исследовательских реакторов усовершенствованной конструкции и со значительной производительностью радиоизотопов.

104. Согласно используемой в Агентстве Базе данных по исследовательским реакторам¹⁰ по состоянию на конец 2010 года в мире существовало 249 исследовательских реакторов; 237 из которых находились в стадии эксплуатации, а 12 были временно остановлены. Еще 5 реакторов находятся в стадии строительства или планирования. В 2010 году были введены в эксплуатацию только 2 исследовательских реактора: Китайский усовершенствованный исследовательский реактор (CARR) и Китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) – оба в Китайском институте атомной энергии (КИАЭ) около Пекина. CARR впервые достиг критичности 13 мая 2010 года, а CEFR – 21 июля 2010 года.



РИС. D-2. Китайский усовершенствованный исследовательский реактор.

¹⁰ <http://nucleus.iaea.org/RRDB/>.

105. По мере вывода из эксплуатации более старых исследовательских реакторов и замены их меньшим числом многоцелевых реакторов ожидается, что к 2020 году количество находящихся в эксплуатации исследовательских реакторов и критических сборок сократится до 100-150. Для обеспечения широкого доступа к этим установкам и их эффективного использования потребуется более активное международное сотрудничество. Сети сотрудничающих партнеров оказываются полезными также в модернизации существующих установок и разработке новых установок. Таким образом, в дополнение к существующим пяти объединениям исследовательских реакторов в Восточной Европе, Карибском бассейне, Центральной Азии, регионах Балтийского моря и Средиземного моря, предполагается создать новые объединения и сети с целью расширить эксплуатацию и использование исследовательских реакторов и сделать их действительно конкурентоспособными.

106. В рамках инициативы США по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ) продолжают предприниматься усилия по переводу топлива исследовательских реакторов и мишеней, используемых в установках по производству изотопов, с ВОУ на НОУ. В 2009 году масштабы ИСГУ были расширены со 129 исследовательских реакторов до 200, а к концу 2010 года 72 исследовательских реактора во всем мире, которые эксплуатировались с использованием ВОУ-топлива, были переведены на использование НОУ-топлива или были остановлены в ожидании конверсии в рамках усилий по международному сотрудничеству, которые предпринимались уже более 30 лет. Из этого количества 33 исследовательских реактора были конвертированы после активизации осуществления этой программы в 2004 году.

107. МАГАТЭ продолжало оказывать поддержку государствам-членам и международным программам с целью возвращения топлива исследовательских реакторов в страну его происхождения. В рамках Программы по возвращению российского топлива для исследовательских реакторов (RRRFR) в соответствии с контрактами, заключенными Агентством, из Беларуси, Украины и Чешской Республики были возвращены пять партий свежего ВОУ топлива весом приблизительно 109 кг. Агентство оказало также помощь в возвращении около 376 кг отработавшего ВОУ топлива из Беларуси, Польши, Сербии (13,2 кг из Винчи) и Украины.

108. В конце 2010 года из Винчи, Сербия, в Российскую Федерацию было перевезено 2500 кг выгоревшего отработавшего топлива исследовательского реактора, значительная часть которого представляла собой НОУ топливо. Успешное осуществление этого крупнейшего проекта технического сотрудничества (ТС) в истории Агентства стало выражением совокупного результата совместных усилий, предпринятых Агентством, а также значительным количеством внешних финансовых доноров и организаций технической поддержки. Будет продолжена дальнейшая работа по поддержке усилий, направленных на полное снятие с эксплуатации данной установки.

109. Южная Африка продолжает оставаться лидером в переводе (с ВОУ на НОУ) мишеней и оборудования для химической обработки, используемых в производстве молибдена-99 для крупномасштабных производителей, и стала первым основным производителем, который осуществил в 2010 году экспортные поставки в промышленных количествах молибдена-99 на основе НОУ. Научно-исследовательский институт атомных реакторов в Димитровграде, Российская Федерация, также приступил в 2010 году к широкомасштабному производству молибдена-99, и первая партия (отвечающая всем требованиям) была поставлена зарубежным партнерам в декабре 2010 года. Ожидается, что уровни производства достигнут 800 кюри в неделю к концу мая 2011 года и 2500 кюри в неделю после завершения второго этапа этого проекта в 2012 году. Ранее в 2002 году, Аргентина успешно преобразовала маломасштабное производство молибдена-99, а впоследствии усовершенствовала эту технологию и экспортировала ее в Австралию и Египет. Кроме того, в течение 2010 года Австралия сообщала

о стабильном прогрессе усилий, предпринимаемых с целью повышения производства молибдена-99 на основе деления НОУ.

110. Технические проблемы привели к повторяющимся, продолжительным и зачастую совпадающим остановам исследовательских реакторов, которые способствовали продолжению кризиса с поставками молибдена-99, который возник в конце 2007 года¹¹. Предпринятые во всемирных масштабах координированные усилия по повышению эффективности удовлетворения спроса, сокращению транспортных проблем и аттестации реакторов, способных осуществлять облучение мишеней, оказали значительную помощь в смягчении последствий кризиса в течение 2010 года до тех пор, пока не возобновилась эксплуатация реакторов, находившихся в запланированных и незапланированных долгосрочных остановах. В Аргентине Национальная комиссия по атомной энергии удвоила производство молибдена-99, тем самым гарантировав самообеспеченность Аргентины и помогая удовлетворить потребности других стран в этом регионе. В Бельгии Центр ядерных исследований в Моле увеличил мощность облучения ВОУ-мишеней на своем реакторе BR-2 и внедрил дополнительный эксплуатационный цикл, в то время как Национальный институт радиоэлементов во Флерасе повысил свой потенциал обработки мишеней. Однако в докладе ОЭСР/АЯЭ¹², опубликованном в сентябре 2010 года при содействии МАГАТЭ, сделан вывод, что угрозы безопасности поставок молибдена-99 будут продолжать существовать до тех пор, пока не будут решены все технические, рыночные и политические вопросы.

111. Для перевода высокопоточных и высокоэффективных исследовательских реакторов требуется разрабатываемое в настоящее время усовершенствованное уран-молибденовое топливо весьма высокой плотности. В этой связи в последние несколько лет были сделаны значительные успехи. Во взаимодействии с Международной рабочей группой по разработке топлива проводятся исследования поведения и показателей уран-молибденового топлива. В США усилия сосредоточены на разработке монолитного молибден-уранового топлива для использования в высокопоточных исследовательских реакторах. По мере совершенствования технологии изготовления достигаются важные результаты. В 2009 году для перевода высокопоточных европейских реакторов на НОУ-топливо была расширена новая европейская инициатива по аттестации дисперсного уран-молибденового топлива весьма высокой плотности на основе НОУ. Хотя в 2010 году был достигнут существенный прогресс в разработке и аттестации уран-молибденового топлива, для своевременного обеспечения коммерческих поставок аттестованного НОУ-топлива весьма высокой плотности необходим дальнейший прогресс и проведение масштабных испытаний.

¹¹ См. также раздел I.1, посвященный радиоизотопам и радиофармацевтическим препаратам.

¹² <http://www.nea.fr/med-radio/reports/MO-99.pdf>.

Е. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях¹³

Е.1. Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве

112. Разработка, испытание, проверка пригодности и применение быстрых и точных ядерных и связанных с ними методов для ранней диагностики заболеваний сыграли главную роль в повышении продовольственной безопасности. В качестве примера можно привести глобальную ликвидацию чумы крупного рогатого скота, о которой, как ожидается, в 2011 году официально объявят Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) и Всемирная организация по охране здоровья животных (МББЭ). Тем не менее, мир по-прежнему стоит перед проблемами, связанными с другими трансграничными болезнями животных (ТБЖ), некоторые из которых могут потенциально поражать людей. Представляется жизненно важным, чтобы эти болезни диагностировались быстро, точно и предпочтительно на местах и чтобы затем принимались надлежащие меры по борьбе с ними. В настоящее время разрабатываются новые технологии облучения для производства безопасных и эффективных вакцин, мечения стабильными и радиоактивными изотопами, а также создания платформ для проведения исследований методом радиоактивных изотопных индикаторов с целью определения чувствительных и конкретных болезнетворных микроорганизмов, а также для использования стабильных изотопов с целью контроля миграции животных.

113. Когда патогенные компоненты вакцины ослаблены или неинфекционны, облученные вакцины сохраняют свою способность стимулировать сильную иммунную реакцию. Некоторые государства-члены получают поддержку для разработки таких вакцин для ряда ТБЖ, против которых в настоящее время какие-либо эффективные вакцины отсутствуют. Например, разрабатываются вакцины против бруцеллеза (широко распространенной зоонозной болезни) в Аргентине и Грузии; инфекций, вызванных паразитическими червями, в Судане, Шри-Ланке и Эфиопии; тейлериоза в Китае и Турции; трипаносомоза в Индии и Кении; анаплазмоза в Таиланде; и рыбных паразитов в Исламской Республике Иран.

114. Для выявления причин негативных побочных эффектов или неудачных применений вакцины против оспы овец и коз¹⁴, было проведено полное геномное секвенирование нескольких полевых и вакцинных штаммов с целью определения присутствия или отсутствия генов, вероятно ответственных за это. Более глубокое понимание устойчивости к болезням и роли различных генов, связанных с иммунной реакцией на болезни скота, будет обеспечено путем проведения исследований, посвященных использованию технологий микроанализа ДНК геномов овец и коз, с применением мечения изотопами фосфора-32 и серы-35. Это является важным шагом в направлении понимания фенотипической и генотипической изменчивости сельскохозяйственных животных.

115. В течение 2009 и 2010 годов был достигнут важный прогресс в разработке карты радиационных гибридов (RH Maps3) коз с использованием облучения на основе кобальта-60. Эта работа была проведена в сотрудничестве с несколькими учреждениями из разных стран мира (Национальный институт агрономических исследований (INRA), Франция; Техасский

¹³ Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к "Обзору ядерных технологий – 2011".

¹⁴ Вирусы саргірох вызывают оспу коз, оспу овец и узелковую сыпь крупного рогатого скота.

сельскохозяйственный и механический университет, США; Хуачжунский сельскохозяйственный университет, Центральный Китай; компания "DNALANDMARK", Канада). Она даст возможность проводить идентификацию генетических маркеров экономически продуктивных признаков, которые могут использоваться в селекции.

Е.2. Борьба с насекомыми-вредителями

116. Инвестиции в землю, семена, водные ресурсы, удобрения, рабочую силу, а также другие затраты, производимые лишь для того, чтобы получаемая в результате сельскохозяйственная продукция была частично или полностью уничтожена насекомыми-вредителями, – это очень неэффективное использование ограниченных ресурсов, имеющихся для обеспечения растущего населения питанием. Поэтому увеличение инвестиций в борьбу с сельскохозяйственными вредителями является важным стратегическим компонентом повышения производительности в сельском хозяйстве и обеспечения глобальной продовольственной безопасности. Однако существующая зависимость от инсектицидов ведет к нарушению природного баланса, сохранению их остатков в пищевых продуктах и регулярной выработке сопротивляемости у насекомых-вредителей. В результате становятся все более востребованными более эффективные, экологически безопасные и устойчивые подходы к борьбе с сельскохозяйственными вредителями.

117. В прошлом спрос на ядерные методы в области борьбы с насекомыми-вредителями в основном ограничивался стерилизацией насекомых для комплексного применения метода стерильных насекомых (МСН) и связанных с ним генетических методов регулирования в масштабах района. Вместе с тем, большие возможности для биологического контроля за насекомыми-вредителями открываются в результате применения излучений для повышения экономической эффективности и безопасности введения и выпуска естественных врагов (паразитоидов и хищников), а также облегчения торговли этими естественными врагами.



РИС. Е-1. Паразитоидные самки проникают своим длинным яйцекладом во фрукты для кладки своих яиц в хозяина.

118. В рамках завершившегося в 2010 году проекта координированных исследований (ПКИ) ФАО/МАГАТЭ восемнадцать исследовательских групп из 15 стран занимались изучением различных сдерживающих факторов в связи с разными системами производства средств биологической борьбы и обращения с ними, в том числе вопроса о потенциальном присутствии сопутствующих сельскохозяйственным вредителям микроорганизмов в процессе их перевозки. Выводы показывают, что существует множество инновационных путей, посредством которых ионизирующее излучение, такое как гамма-лучи или рентгеновские лучи, может способствовать осуществлению биологического контроля, например, увеличению срока сохранности естественных врагов или хозяев и снижению себестоимости и расходов на материально-техническое обеспечение хранения и отдельного содержания паразитоидных и непаразитирующих взрослых особей сельскохозяйственных вредителей до тех пор, пока не появится возможность для их отправки заказчикам.

119. Кроме того, излучение может применяться к частично или полностью стерилизованным хозяевам или жертвам для размещения в полевых условиях с целью повышения первоначальной выживаемости и заблаговременного накопления естественных или выпущенных средств биологической борьбы до сезонного скопления популяции насекомых-вредителей, а также для использования хозяев с инактивированной репродуктивной функцией в полевых условиях в качестве индикаторов. Применение излучения может также помочь снизить риски, связанные с введением экзотических средств биологической борьбы, которые могут, если не провести их тщательный скрининг в полустественных или естественных условиях, стать вредителями нецелевых организмов. Стерилизованные средства биологической борьбы могут быть тестированы на хозяйскую специфичность в полевых условиях без какого-либо риска приживания.

120. Излучение является также очень полезным средством изучения физиологических взаимодействий между хозяином и паразитоидом, таких как иммунные реакции хозяина, происходящих посредством подавления защитных реакций естественных или искусственных хозяев. Наконец, была продемонстрирована возможность объединения выпусков естественных врагов и стерильных насекомых в рамках объединенных программ борьбы с насекомыми-вредителями в масштабах района.



РИС. Е-2. Паразитоидные самки, откладывающие яйца в искусственное питание, содержащее личинки хозяина, в рамках процесса массового разведения.

121. Некоторые из этих ядерных применений уже используются в широких масштабах, например в Пакистане, где средства биологической борьбы применяются для борьбы с основными сельскохозяйственными вредителями хлопка и сахарного тростника¹⁵.

Е.3. Улучшение сельскохозяйственных культур

122. Судя по проведенной Всемирным банком в 2009 году оценке, 70-80% стоимости ущерба от изменения климата придется на развивающиеся страны, причем наиболее пострадавшим будет сектор сельского хозяйства. Главное воздействие изменения климата на сельское хозяйство вероятно проявится в высокой изменчивости температур, изменениях в режиме осадков, включая более высокую интенсивность и частотность экстремальных явлений (наводнений и засух), а также в подъеме уровня моря, что затронет прибрежные районы, где расположены обширные площади обрабатываемых земель (эти земли могут значительно пострадать от вторжения соленой воды).

123. Одна из возможных мер реагирования может заключаться в генетическом улучшении сельскохозяйственных культур. Мутации или естественные наследственные изменения в генетическом материале растений всегда успешно использовались для идентификации и отбора признаков, имеющих важное значение для улучшения сельскохозяйственных культур. Использование ядерных методов для индуцирования мутаций может ускорить темпы генетических изменений и, тем самым, повысить приспособляемость сельскохозяйственных культур к изменению и непостоянству климата, посредством:

- использования генетического разнообразия существующих мутированных сортов для оценки устойчивости к стрессам, связанным с изменением климата, в плане урожая и компонентов урожая;
- применения существующих средств для характеристики физиологических и биохимических реакций на эти стрессы путем применения методов стабильных изотопов;
- анализа и использования мутаций с применением различных молекулярных средств, а также путем использования соответствующих средств биоинформатики для оценки обширных массивов данных и визуализации метаболических путей, на которые повлияли стрессы и/или генотипы.

¹⁵ Информация о всех этих применениях опубликована в 362-страничном специальном издании рецензируемого независимыми авторитетными экспертами журнала *Biocontrol Science and Technology*. См.: http://www-naweb.iaea.org/nafa/ipc/crp/Biocontrol_final.pdf



РИС. Е-3. Использование радиационно-индуцированных мутаций для улучшения сельскохозяйственных культур и понимания функций генов. Различные цвета соответствуют различным мутациям. Это улучшенные мутанты, которые находятся на хранении и позднее будут проходить скрининг на предмет конкретного стресса для отбора селекционно-позитивных мутантов (предоставлен г-ном Д. Шу, Китай).

124. Несколько государств-членов располагают мутированными сортами основных продовольственных культур, готовыми к определению фенотипа и молекулярных характеристик. Для того чтобы повышать эффективность использования ядерных методов для индуцирования мутаций, дальнейшие усилия будут предусматривать адаптацию самых передовых технологий и определение характеристик существующих мутированных сортов, что придаст более широкий характер приспособляемости сельскохозяйственных культур к непостоянству и изменчивости климата. Эти новые высокоэффективные технологии включают: высокопроизводительное пиросеквенирование или прямое глубокое секвенирование геномов, для которых уже имеется последовательность близкого родственника, и HRM-анализ (анализ кривых плавления амплифицированных фрагментов ДНК), основанный на использовании полимеразной цепной реакции (ПЦР) и интеркалирующих флуоресцентных красителей ДНК для обнаружения редких мутаций в генах с большими интронами. Ошибочные спаривания пары оснований можно обнаружить с использованием флуоресцентных систем мониторинга, и это можно считать расширением идентификации однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП) в растениях. Использованию этих методов еще более способствует резкое снижение расходов на определение последовательности ДНК, что позволяет производить избыточный отбор проб из геномных участков, устранять погрешности и ускорять обнаружение мутаций в полиплоидных видах, таких как пшеница с объединенными мутировавшими сортами. Изменение климата может привести к значительной утрате генетического разнообразия в рамках культивируемых видов. В настоящее время имеются сложные модели прогнозирования и имитации последствий изменения климата, которые могут быть адаптированы к отобраным сельскохозяйственным культурам в целевых регионах, и эта отрасль науки называется биоинформатикой. Доступ к базам данных геномов и зародышевой плазме сельскохозяйственных культур в банках генов во всем мире, осуществляемый благодаря многосторонним договорно-правовым документам, обеспечивает ценные средства для преодоления этих главных трудностей в области продовольствия и сельского хозяйства.

125. Пакеты ядерных технологий, основанных на индуцировании мутаций и повышающих эффективность биотехнологиях, могут помочь в идентификации и использовании основных признаков для обеспечения приспособляемости к изменению и непостоянству климата. Эти

методы могут быть распространены на леса, которые также играют решающую роль в стабилизации климата.

Е.4. Рациональное использование почвы и воды

Е.4.1. Новые рубежи в оценке секвестрации почвенного углерода на сельскохозяйственных землях

126. Почвенный органический углерод (ПОУ) является важным компонентом органических веществ в почвенном слое, обеспечивающим необходимые питательные вещества для роста сельскохозяйственных культур, повышающим устойчивость к эрозии почв и улучшающим сохранение воды. Расширение масштабов хранения ПОУ, также известное как секвестрация углерода, помогает компенсировать выбросы CO_2 в результате сельскохозяйственной деятельности, такой как выращивание сельскохозяйственных культур и животноводство, способствуя при этом улучшению качества почв и удержанию воды, а также снижению потерь питательных веществ. Секвестрация почвенного углерода обеспечивает сбалансированность между вводом углерода в почву через биомассу растений и высвобождением углерода из почвы в виде CO_2 в результате микробной деятельности и распада органических остатков. Определение количественных параметров высвобождаемого из почвы CO_2 и установление его источника могут помочь определить факторы управления, влияющие на происходящие в почве процессы, сказывающиеся на высвобождении CO_2 .

127. Высвобождаемые из почвы стабильные изотопы углерода (углерод-13 и углерод-12) используются для оценки динамики поведения находящихся в почве органических веществ, потенциала секвестрации углерода и стабилизации углерода в почвах. Однако проведенные в 2010 году исследования (Филипс и др., 2010 год)¹⁶ показали, что на точечные замеры углерода-13 влияют почвенные и атмосферные условия в данном месте и время замеров. Неопределенности в величинах углерода-13, связанные с местом и временем, могут учитываться посредством постоянного и производимого в масштабе реального времени измерения углерода-13. Для измерения углерода-13 и углерода-12 в атмосферном CO_2 были разработаны (Никерсон и Риск, 2009 год)¹⁷ газоанализаторы, в которых используются лазеры ближнего инфракрасного диапазона с высокой аналитической чувствительностью. Эти портативные анализаторы не требуют частой калибровки и могут использоваться в полевых условиях. Благодаря своей точности и надежности, эти анализаторы обеспечивают более точную количественную оценку процессов, связанных с почвенным углеродом, на сельскохозяйственных угодьях в различных временных и пространственных масштабах и, следовательно, открывают новые рубежи в оценке секвестрации почвенного углерода на сельскохозяйственных землях.

¹⁶ Phillips, C.L., Nickerson, N., Risk, D., Kayler, Z.E., Andersen, C., Mix, A., Bond, B., 2010, Soil moisture effects on the carbon isotope composition of soil respiration. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 24, 1271-1280.

¹⁷ Nickerson, N. and Risk, D., 2009, Physical controls on the isotopic composition of soil respired and CO_2 . *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 114, G01016, doi:10.1029/2008JG000844.



РИС. Е-4. Улучшение качества почвы и повышение секвестрации почвенного углерода: выращивание сои с применением методов почвозащитного земледелия в Бразилии (фотография любезно предоставлена Бруну Алвисом, компания "Эмбрана", Бразилия).

Е.4.2. Использование изотопов кислорода в фосфате для отслеживания источников и цикличности фосфора в почвах

128. Фосфор – один из важнейших элементов питания растений, людей и животных. Учитывая тот факт, что во многих регионах мира почвы характеризуются низким уровнем содержания фосфора и что при недостатке фосфора замедляется рост растений и снижается урожайность и качество пищевых продуктов, крайне важно улучшать понимание динамики фосфора. Фосфор состоит из одного стабильного изотопа (фосфор-31) и нескольких радиоизотопов (от фосфора-26 до фосфора-30 и от фосфора-32 до фосфора-38), но единственные два изотопа, пригодные для агрономических исследований (фосфор-32 и фосфор-33), являются очень короткоживущими – 14,3 и 25,3 дня, соответственно, что затрудняет проведение каких-либо долгосрочных исследований. Поскольку фосфор состоит только из одного стабильного изотопа, ученые начали исследовать потенциал изотопов кислорода как в неорганических, так и в органических соединениях фосфора для изучения и понимания динамики фосфора как в системах растениеводства, так и животноводства для улучшения плодородия почв и увеличения производства пищевых продуктов. Такая информация очень важна для будущего управления фосфором в целях устойчивой интенсификации сельского хозяйства и минимизации отрицательных последствий наличия избыточного фосфора для окружающей среды.

129. Чтобы проанализировать кислород-18 в почве из различных фракций почвенного фосфора, фосфат необходимо извлечь из почвы, подвергнуть очистке и превратить в ортофосфат серебра. Недавно группа ученых¹⁸ разработала протоколы оценки кислорода-18 для почв с различным состоянием фосфора и наличием растений в различных странах. В результате применения на почвах различных практик управления сельскохозяйственным производством (например, внесение удобрений или навоза) в фосфоре почв проявляются различные сигнатуры кислорода-18, что свидетельствует о возможности использования кислорода-18 в качестве изотопного индикатора для изучения цикличности фосфора, отслеживания источников фосфора и, в конечном счете, обеспечения более глубокого понимания динамики почвенного фосфора в агроэкосистемах.

¹⁸ Tamburini, F., Bernasconi, S.M., Angert, A., Weiner, T. and Frossard, E., 2010, A method for the analysis of the $\delta^{18}\text{O}$ of inorganic phosphate extracted from soils with HCl. European Journal of Soil Science, 61, 6, 1025-1032.

Г. Здоровье человека

Г.1. Питание

130. Методы стабильных изотопов, основанные на дейтериевом разбавлении, являются важными средствами оценки композиционного состава тела и усвоения материнского молока вскармливаемыми грудью младенцами. В последние годы при поддержке Агентства эти методы перешли из разряда чисто инструментов исследования, которые были доступными лишь в нескольких образцово-показательных центрах, в основном в промышленно развитых странах, в разряд инструментов для оценки воздействия нутритивной терапии в здравоохранении в развивающихся странах. Этому изменению способствовало уделение большого внимания введению удобных для пользователя спектроскопических методов для анализа обогащения дейтерием в содержащих воду образцах. Применение инфракрасного спектрометра с преобразованием Фурье (ИКФС) – это метод, которым легко овладеть и который является относительно недорогим, а соответствующие приборы не требуют значительного технического обслуживания. Поэтому этот метод хорошо подходит для использования в развивающихся странах с ограниченными ресурсами. При поддержке со стороны Агентства за последние два года в Африке и Латинской Америке был создан значительный потенциал, и в настоящее время методы стабильных изотопов с использованием ИКФС для анализа дейтерия в слюне применяются при оценке нутритивной терапии для обеспечения медицинских работников и высших должностных лиц надежной доказательной основой для терапевтического воздействия с целью обеспечения здорового роста у младенцев и детей.

Г.2. Достижения в применении методов радиационной онкологии¹⁹

131. Трехмерная конформная лучевая терапия (3М-КЛТ) используется для описания разработки и осуществления планирования лечения лучевой терапией на основе данных трехмерных изображений с полями облучения, индивидуально сформированными для терапии только целевой ткани. Благодаря использованию трехмерной конформной лучевой терапии, как с модуляцией интенсивности, так и без нее, в настоящее время можно добиваться более точного соответствия предписанной дозы облучения форме опухоли и тем самым лучшего сохранения здоровых соседних тканей.

132. Онкологи-радиологи сталкиваются с особыми проблемами на тех участках тела, где органы и опухоли в ходе сеансов лучевой терапии перемещаются. По мере того, как воздействие дозы излучения становится все более точным, перемещения органов и опухолей становятся значительным фактором, влияющим на точность воздействия дозы. Это имеет особенно важное значение для опухолей, расположенных в районе грудной клетки, которые перемещаются при дыхании. То же самое происходит с опухолями, расположенными в гортани, брюшной полости (печени), предстательной железе и мочевом пузыре, а также в тазе в целом, все из которых также перемещаются во время сеансов терапии и между ними.

¹⁹ Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к Обзору ядерных технологий – 2011.

133. Благодаря прогрессу в респираторно-синхронизированной радиотерапии перемещение опухолей можно теперь учитывать с большой точностью. В компьютерной респираторно-синхронизированной радиотерапии на брюшную полость больного помещается небольшая пластмассовая коробка с отражающими маркерами. Отражающие маркеры в процессе дыхания перемещаются, а цифровая камера, подсоединенная к центральному процессору, регистрирует эти перемещения в реальном времени. Компьютерная программа анализирует перемещения и инициирует воздействие пучка лучей в процессе терапии синхронно с дыхательным циклом. При использовании этого метода можно также выбирать фазу дыхательного цикла. В зависимости от места расположения опухоли, она будет облучаться при вдохе или при выдохе. Поэтому опухоль всегда будет находиться в пучке излучения, причем оно не будет попадать на критические органы.

Г.3. Новые события в технологии ядерной медицины в области кардиологических исследований

134. В последние три года наблюдался большой прогресс в ядерной медицине, в особенности в области кардиологии. Произошло сокращение времени сканирования и дозы облучения, получаемой пациентами, что сопровождалось повышением общего качества изображений, позволяя таким образом обеспечивать более уверенную и более эффективную диагностику сердечно-сосудистых заболеваний и улучшая рабочий цикл.

135. Технологическая концепция обычных систем гамма-топографов с неподвижным детектором, используемая в системе визуализации СПЕКТ, за последние пятьдесят лет не изменилась. В этой традиционной конструкции используется легированный примесью таллия кристалл иодида натрия, который, реагируя на гамма-кванты, сцинтиллирует, давая слабую вспышку света, и он функционирует вместе с комплектом фотоумножительных трубок, которые обнаруживают флюоресцирующую вспышку. Вместе с тем в новой технологии объединяются новые детекторные материалы, такие как кадмий-цинковый теллурид (КЦТ), использование направленной коллимации с помощью узкой диафрагмы, трехмерная реконструкция и модели сбора данных. При использовании обычного гамма-топографа с неподвижным детектором гамма-излучение попадает на сцинтиллирующий кристалл иодида натрия, давая вспышку света; трубка фотоумножителя преобразует затем квант света в электрический заряд, завершая двухэтапный процесс. В случае твердотельного детектора гамма-излучение попадает на иной вид кристалла, такой как КЦТ, который является полупроводником, преобразующим квант непосредственно в цифровой электронный сигнал в рамках состоящего из одного этапа процесса.

136. Новая высокоскоростная система характеризуется повышенной чувствительностью в определении количества импульсов, позволяя сократить время исследований и величину получаемой дозы без ущерба для качества исследований и возможностей диагностики. При использовании новых систем эффективная радиационная доза составляет примерно одну десятую от дозы, получаемой при использовании обычной технологии ядерной медицины.

137. Время сканирования сокращается до четырех минут нагрузки/двух минут отдыха, а высокоскоростная камера обеспечивает получение изображений с улучшенной разрешающей способностью и с тем же объемом нарушений в перфузии, что и при использовании обычных изображений перфузии миокарда (ИПМ) методом СПЕКТ (рисунок F-1)²⁰.

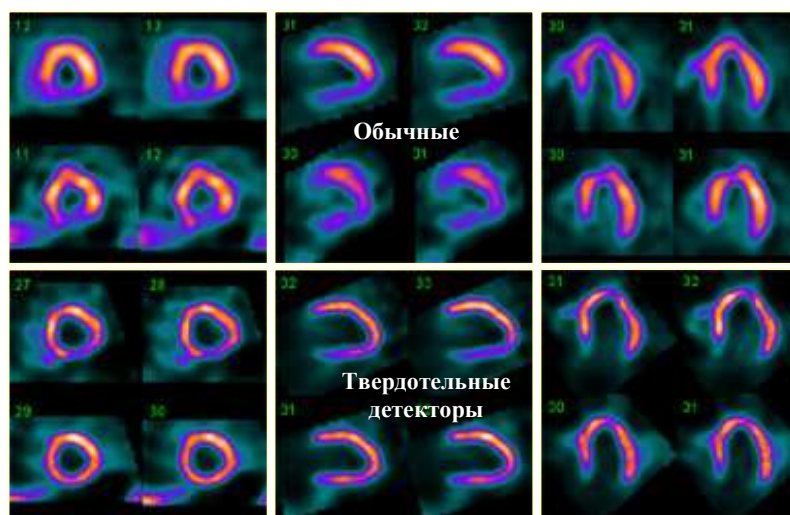


РИС. F-1. Изображения перфузии миокарда, полученные с использованием обычной технологии СПЕКТ (верхний ряд) и новой специальной кардиологической камеры, оснащенной твердотельными КЦТ-детекторами (нижний ряд). Исследования проводились последовательно на одном и том же пациенте. Явно различима разница в четкости изображений (любезно предоставлены проф. Б. Хаттоном и проф. С. Бен-Хаймом, больницы университетского колледжа Лондона, Соединенное Королевство).

138. Новые системы дают возможность комбинирования изображений, полученных в рамках молекулярной ядерной медицины, с анатомическими деталями, полученными при использовании компьютерных томографов. Два этих различных вида аппаратуры, объединенные в "гибридные системы", позволяют давать комбинированную оценку функции и структуры в рамках единой диагностической процедуры для использования наиболее сильных сторон каждой из них. Это является очень большим усовершенствованием в лечении пациентов, которое в настоящее время применяется в ядерной кардиологии и в будущем безусловно будет более широко применяться в других клинических областях, таких как онкология.

²⁰ Tali Sharir, MD, Piotr J. Slomka and Daniel S. Berman, MD, Solid-State SPECT technology: fast and furious. J Nucl Cardiol 2010; 17:890–6.

Г. Окружающая среда

Г.1. Использование ядерной технологии для раннего предупреждения о вредоносном цветении морских водорослей

139. Вредоносное цветение морских водорослей (ВЦВ) вызвано ростом и скоплением микроскопических водорослей, главным образом вследствие деятельности человека. Токсичный фитопланктон отфильтровывается из морской воды в качестве питания моллюсками, которые таким образом накапливают токсины, содержащиеся в водорослях, до уровней, смертельно опасных для людей и других потребителей. Наряду с тем, что из различных стран поступает информация о случаях смертей, а также отравлений и токсического воздействия, в 2002 году в рамках Глобальной программы действий по защите морской среды от наземной деятельности Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде поступила информация о значительных экономических потерях из-за вредоносного цветения водорослей, составляющих сотни миллионов долларов.

140. В США, а также в ЕС все контейнеры и все партии моллюсков должны иметь ярлык и гигиенический сертификат с указанием места происхождения, добытчика морепродуктов и даты добычи. Эта информация должна приводиться в сопроводительной документации на моллюски при их транспортировке, а также при направлении на обработку и распределении по сетям розничной торговли, с тем чтобы в случае возникновения проблем с санитарным состоянием можно было проследить происхождение продукции. В 2010 году Европейский союз (ЕС) и США начали изучать вопрос о введении требования о наличии сертификата, удостоверяющего, что моллюски не содержат токсинов ВЦВ, который по-прежнему находится на стадии рассмотрения. Если такое законодательство будет принято, то любой импорт дорогостоящих моллюсков без такого сертификата будет в будущем запрещен. В 2009 году Группа CONTAM по загрязнителям в пищевых цепочках Европейского управления контроля безвредности пищевых продуктов отметила, что "применяемый в настоящее время метод определения биологической активности на мышах не считается надлежащим средством для целей контроля". На состоявшемся в 2010 году ежегодном совещании Международной АОАК (Научной ассоциации, стремящейся к постоянному совершенствованию в проведении анализов) метод рецепторсвязывающего анализа (РСА), представляющий из себя ядерную технологию, основанную на использовании меченных радиоактивным изотопом токсинов, был назван в качестве одного из двух разработанных альтернативных методов, которые были успешно опробованы в ходе предварительных валидационных исследований и будут иметь важное значение для национальных регулирующих органов, занимающихся экспортом моллюсков.

141. Метод РСА является также потенциальным исследовательским средством, обеспечивающим улучшенную оценку динамики токсина водорослей в зависимости от физико-химических изменений в водяном столбе, который может помочь идентифицировать факторы, влияющие на токсичность, и способствовать разработке прогнозных моделей токсичности при цветении. В сотрудничающем центре Агентства на Филиппинах ведутся научные исследования с применением метода РСА с целью оценки потенциала токсинов ВЦВ в плане накопления в таких видах морепродуктов, как мидии или устрицы.

142. Растет спрос со стороны государств-членов на применение этой технологии, что видно из рисунка G-1. Соответственно, ожидается, что в следующем десятилетии она будет применяться во все более широких масштабах.

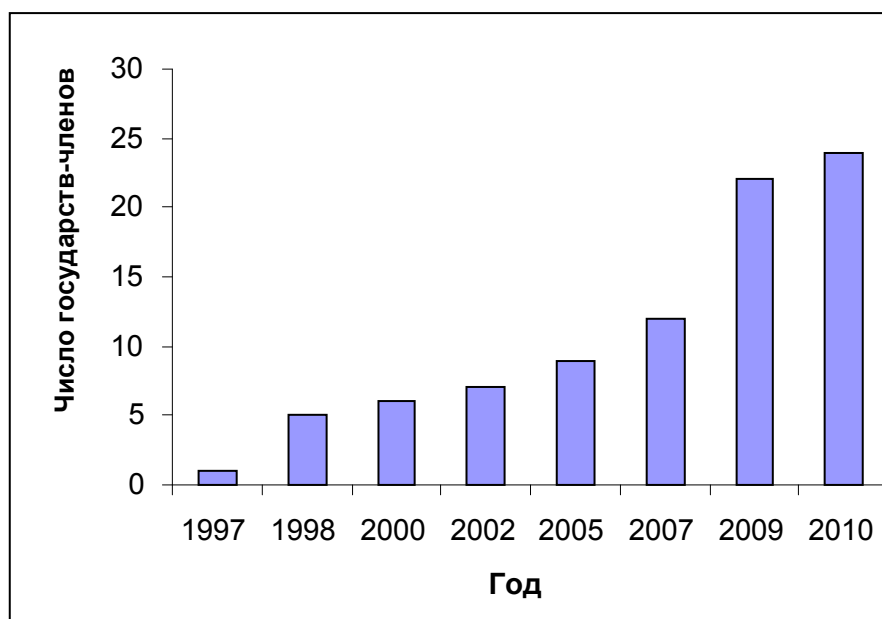


РИС. G-1. Общее число государств-членов, обратившихся с просьбой о передаче технологии использования метода рецепторсвязывающего анализа в рамках проектов технического сотрудничества.

G.2. Роль долгоживущих радионуклидов в понимании процессов, происходящих в окружающей среде

143. Долгоживущие радионуклиды, в силу своей высокой изменчивости в природе и различных физических и химических свойств, используются для изучения биогеохимических процессов (например в исследованиях миграции, океанографических исследованиях или исследованиях отложений). Радиоактивные характеристики этих нуклидов и изменения соотношений материнских и дочерних нуклидов во времени используются при датировании (например, датировании углерода-14 или урана-свинца) и в процессе изучения зависящих от времени природных процессов, таких как исследования миграции или отложений.

144. Такие долгоживущие радионуклиды могут служить в качестве природных и искусственных радиоиндикаторов и радиоактивных часов в окружающей среде, что позволяет исследователям датировать и изучать крупномасштабные процессы, происходящие в окружающей среде, а также получать информацию, которую невозможно получить другими способами. Кроме того, учитывая неопределенность будущих климатических сценариев и потенциальную реакцию окружающей среды, исследователи все более склоняются к использованию основанных на радионуклидах индикаторов и методологий датирования для улучшения понимания происходящих в окружающей среде процессов и изменений в морской, пресноводной и земной средах.

145. Радионуклиды дают средства, позволяющие проводить количественные исследования ресурсов океана, океанографических процессов и загрязнения морской среды и в то же время могут помогать решать проблемы рационального использования прибрежных зон. Учитывая, что благодаря своему распаду с течением времени радионуклиды содержат в себе "часы", их можно использовать для изучения временных биогеохимических процессов в морской среде.

146. В течение двух последних десятилетий из-за быстрого развития неорганических масс-спектрометрических приборов применение в анализе долгоживущих радионуклидов масс-спектрометров с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), в особенности масс-спектрометров с индуктивно связанной плазмой с секторным полем (МС-ИСПСП), оснащенных анализаторами секторного поля с двойной фокусировкой, приобрело характер дополнительного и альтернативного средства в сравнении с традиционными радиоаналитическими методами (например, альфа-спектрометрией и жидкостной сцинтилляцией). Масс-спектрометрические методы преобладают в области изотопного анализа из-за того, что они требуют меньше времени, могут иметь более низкий предел обнаружения и обеспечивают очень высокую точность. Применение МС-ИСП иногда является единственным методом, позволяющим установить изотопные "отпечатки пальцев", в особенности когда речь идет о редких изотопах того или иного элемента.

147. Источники загрязнения окружающей среды можно выявлять по содержанию изотопа и/или анализу изотопных отношений, которые служат своего рода "отпечатками пальцев" загрязнения. Химические вещества, образующиеся из отличающихся источников в результате существенно различающихся процессов, будут, как предполагается, иметь свойственные им изотопные составы, которые можно использовать для идентификации источников.

148. После того, как различные источники (например, антропогенные или природные геогенетические) будут идентифицированы, содержания изотопов и изотопные отношения можно использовать для количественного определения распределения источников. Изотопные отличительные признаки являются основой для изучения исторических и экологических изменений выбранных мест отбора проб.

Н. Водные ресурсы²¹

149. Исследования с применением стабильных и радиоактивных изотопов используются для содействия во всеобъемлющем управлении использованием подземных вод, поскольку получило широкое распространение мнение об эффективности этих методов с точки зрения времени и затрат. Есть несколько недавних примеров использования изотопных методов для содействия в управлении использованием подземных вод. Так например, в системе водоносного горизонта Гуарани в Южной Америке, бассейне Тадлы в Марокко и водоносном горизонте нубийских песчаников в Северной Африке интерпретации изотопных данных использовались не только для подтверждения традиционных гидрологических исследований, но и для более глубокого понимания динамики потока подземных вод и водоносных горизонтов. В частности, изотопы использовались в этих районах для определения источников и механизмов пополнения подземных вод, возраста и скорости движения подземных вод, а также количественной оценки смешивания подземных вод водоносных горизонтов. Ожидается, что в ближайшие годы существенно расширится применение изотопных методов в гидрологических исследованиях в целом и во всеобъемлющем управлении использованием ресурсов подземных вод в частности.

²¹ Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к Обзору ядерных технологий – 2011.

I. Производство радиоизотопов и радиационная технология

I.1. Радиоизотопы и радиофармацевтические препараты

I.1.1. Использование действующих на молекулярном уровне препаратов для визуализации и лечения

150. Радиоизотопные методы визуализации, такие как однофотонная эмиссионная компьютерная томография (СПЕКТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), требуют для решения проблем диагностики постоянного наличия новых радиофармацевтических препаратов (химических соединений или биологических препаратов, меченых радиоизотопом). Применение высокоспецифических радиофармацевтических препаратов в качестве биомаркеров молекулярных процессов, лежащих в основе заболевания, подхода, известного под названием "молекулярная визуализация", служит либо ранним индикатором болезни, либо объективным показателем для определения эффективности лечения, прежде всего больных раком. Был разработан ряд меченых соединений для целенаправленного исследования ранее не изученных биологических процессов. Это потребовало высокоэффективных процедур для их подготовки, что привело к разработке альтернативных подходов. В области ПЭТ ведется активное исследование новых систем генераторов и компактных циклотронов для производства галлия-68, фтора-18 и углерода-11 и новых автоматизированных модулей синтеза на основе микрофлюидальных технологий.

151. Одной из наиболее неотложных задач в области радиационной медицины является поиск дополнительных эффективных методов терапевтического воздействия при онкологических заболеваниях. Применение метода молекулярной диагностической визуализации было с успехом расширено и используется для доставки лечебной дозы радиоактивности к опухоли для уничтожения злокачественных клеток (радионуклидная терапия). Это достигается путем включения подходящего терапевтического радионуклида в молекулярный вектор, который, после введения *in vivo*, быстро накапливается в опухоли в результате его специфического сродства к молекулярной мишени, выборочно представляющей собой раковые клетки. Таким образом, радиоактивность надлежащим образом и прочно удерживается в опухоли, а частицы, испускаемые при радиоактивном распаде, тесно взаимодействуют с раковыми клетками без необходимости преодолевать какой-либо биологический барьер. Нейроэндокринные опухоли создают самые подходящие условия для такой радионуклидной терапии с использованием пептидов, меченных иттрием-90 и лютецием-177, которые называются DOATATOC и DOTATAE, соответственно. Другие преимущества радионуклидной терапии заключаются в доступности значительного числа радиоактивных нуклидов с характеристиками, пригодными для терапевтических применений (например, иттрия-90, лютеция-177, меди-67, меди-64, рения-188, висмута-213), которые могут вступать в химические взаимодействия с рядом биомолекул носителей для избирательного направления на различные виды раковых клеток.

I.1.2. Надежность поставок молибдена-99 и технеция-99m²²

152. Острый дефицит в обеспечении поставок производимого реакцией деления молибдена-99, а затем и технеция-99m, который имел место с конца 2007 года до третьего квартала 2010 года, привел к повышению интереса к изучению и разработке альтернативных технологий их производства²³. Применение технологий, в которых не используется высокообогащенный уран, и решение вопросов соответствующих разработок, а также применение подходов на базе ускорителей помогут снизить зависимость от устаревших реакторов, эксплуатируемых в отрасли производства молибдена-99 на основе реакции деления. Например, ведутся исследования производства молибдена-99 путем фотоядерных реакций с использованием очень высокообогащенных молибденом-100 мишеней [молибден-100 (гамма-, нейтронное излучение) молибден-99] в электронных ускорителях с энергией 15-20 МэВ²⁴.

153. Для по крайней мере частичного уменьшения дефицита в странах, имеющих доступ к циклотронам низких или средних энергий, канадские исследователи в качестве практической альтернативы предлагают осуществлять прямое производство технеция-99m на основе циклотронов. Экономические перспективы прямого производства технеция-99m в необходимых количествах на повседневной основе требуют дополнительного исследования. При применении метода прямого производства технеция-99m на основе реакции молибдена-100 (p,2n) технеция-99m расчет делается на использование почти 40 циклотронов, способных ускорять протоны в диапазоне энергий 20-30 МэВ (рис. I-1.). При использовании этого метода для обеспечения радионуклидной чистоты технеция-99m, требуемой для медицинского использования, необходимы высокообогащенные молибденом-100 мишени.

154. Соответственно, применительно к обоим из вышеупомянутых подходов технология извлечения и рециркуляции обогащенных молибденом-100 мишеней будет необходимым предварительным условием, что говорит о том, что по-прежнему ощущается потребность в доработке подходящих протоколов и методов.

²² См. также раздел D.2. "Исследовательские реакторы".

²³ Дополнительная информация содержится в Приложении VII к Обзору ядерных технологий – 2010.

²⁴ Доклад АЯЭ/ОЭСР 2010 года 'The Supply of Medical Radioisotopes – Review of Potential Molybdenum-99, Technetium-99m Production Technologies'.

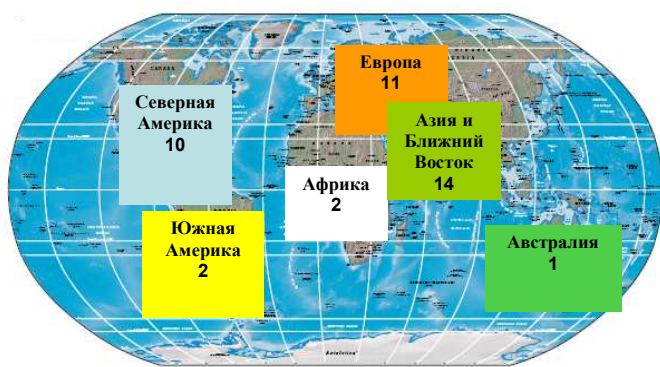


РИС. I-1. Распределение циклотронов с энергией свыше 20 МэВ для производства медицинских изотопов (предоставлен д-ром Д. Шлайером, Брукхейвенская национальная лаборатория, США, на основе данных четырех основных изготовителей циклотронов).

I.2. Применения радиационных технологий

I.2.1. Комплексное применение радиоизотопных индикаторов и компьютерного моделирования при регулировании отложений

155. В течение нескольких последних лет находит все более широкое применение комплексный подход к моделированию и использованию индикаторов для решения сложной проблемы движения отложений вдоль побережья и по морскому дну. Методы радиоизотопных индикаторов обеспечивают получение количественной информации, такой как скорость накопления, толщина и темпы переноса отложений, которую можно использовать для валидации математических моделей. Были разработаны новые передовые системы (рис. I-2.), такие как компактные системы сбора данных, интегрированные с глобальной системой определения координат (GPS), для мониторинга концентраций радиоизотопных индикаторов по широте и долготе; усовершенствованные системы инъекции для безопасной и удобной инъекции радиоиндикаторов; пакеты нового программного обеспечения для обработки и интерпретации точных данных. Так, например, в 2009 и 2010 годах в Индии в существующем районе захоронения в порту Вишакхапатнам и на двух предлагаемых площадках для захоронения в порту Калькутты радиоиндикаторные исследования осуществлялись с использованием в качестве индикатора стеклянного порошка, меченного скандием-46. Результаты показали, что существующий район и одна из предлагаемых площадок пригодны для захоронения отложений, образующихся в ходе проведения дноуглубительных работ, а другая из предлагаемых площадок не пригодна для этого, поскольку на ней наблюдалось перемещение значительных отложений в сторону судоходного канала.

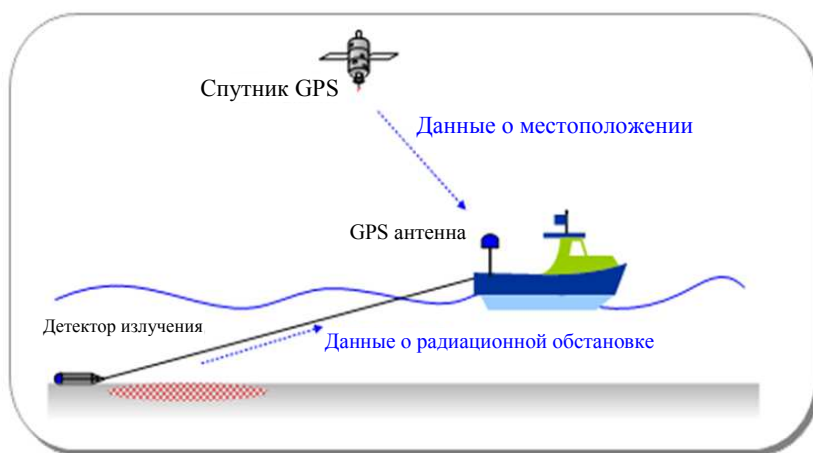


РИС. I-2. Схема интегрированной с GPS системы счета гамма-излучения для исследований по отслеживанию отложений в прибрежных районах.

I.2.2. Слаботочные электронные пучковые (ЭП) ускорители

156. В 2010 году на рынке промышленных электронных ускорителей (www.Radtech.org) наблюдался самый большой спрос на ускорители в диапазоне энергий от <100 кэВ до нескольких сот кэВ, являющиеся достаточно слаботочными для того, что иметь экраны из металла высокой плотности – чаще всего свинца, хотя в последнее время – из стали. Большинство из слаботочных электронных ускорителей могут быть включены в бесперебойные промышленные процессы, подобные существующим в полиграфической и лакокрасочной промышленности.

157. При закреплении красок, покрытий и клеев путем ЭП обработки отпадает необходимость в использовании летучих органических соединений, что дает возможность изготовителям достигать высокой скорости обработки при минимальном энергопотреблении и уменьшении воздействия на окружающую среду. При этих применениях электронно-пучковая технология обеспечивает 90-процентное сокращение в энергопотреблении по сравнению с обычной горячей сушкой и закреплением. Несколько производителей предлагают компактные, недорогие слаботочные ЭП ускорители для лабораторного использования и интегрирования в процессы высокоскоростного нанесения покрытий, полиграфических работ и обработки поверхностей. Образец такого агрегата, работающего в диапазоне энергий от 80 до 120 кэВ, приводится на рисунке I-3.



РИС. I-3. Самоэкранированный агрегат для решения прикладных задач с использованием слаботочных усовершенствованных ЭП (источник: <http://www.aeb.com/>).

158. Дополнительные сферы применения слаботочных ЭП ускорителей включают соединение термоусаживаемых и нанокompозитных пленок, используемых, например, при упаковке пищевых продуктов. Такая пленка увеличивает срок годности продукции из мяса, птицы, молока и используется для создания упаковки с защитой от несанкционированного вмешательства. В последние два года в рамках реагирования на меняющиеся рыночные требования и спрос на инновации, ЭП упрочнение упаковочных материалов и связанные с ним применения приобрели более широкий характер.