

## Пятьдесят шестая очередная сессия

Пункт 16 предварительной повестки дня  
(GC(56)/1 и Add. 1)

# Обзор ядерных технологий – 2012

*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, происшедшие в основном в 2011 году.
- В «Обзоре ядерных технологий – 2012» рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, 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. На веб-сайте Агентства<sup>1</sup> на английском языке имеется дополнительная документация, связанная с «Обзором ядерных технологий – 2012», по таким вопросам, как разработка альтернатив гамма-облучению для метода стерильных насекомых (МСН), визуализация для диагностики и лечения рака груди, применения радиационных технологий в добыче и переработке полезных ископаемых, технологические решения для строительства первой АЭС в стране, роль исследовательских реакторов в деле внедрения ядерной энергетики и использование закрытых радиоактивных источников и обращение с ними.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно также найти в Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2011 год (GC(56)/2), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2011 год (GC(56)/INF/4).
- 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.

<sup>1</sup> <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC56/Agenda/index.html>



# Обзор ядерных технологий – 2012<sup>2</sup>

*Доклад Генерального директора*

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. В 2011 году ядерная энергия продолжала играть важную роль в производстве электроэнергии в мире несмотря на аварию на атомной электростанции (АЭС) "Фукусима-дайти". Суммарная генерирующая мощность атомных электростанций немного снизилась по сравнению с предыдущими годами вследствие окончательного останова 13 реакторов в 2011 году, в том числе 8 – в Германии и 4 – в Японии после аварии. Тем не менее было произведено 7 новых подключений к энергосетям против 5 подключений в 2010 году и 2 - в 2009 году, при этом в 2008 году не было ни одного подключения. Все еще ожидается значительный рост в мире использования ядерной энергии – между 35% и 100% к 2030 году, хотя в настоящее время прогнозы Агентства на 2030 год на 7-8% ниже, чем выполненные в 2010 году. Факторы, способствовавшие повышению интереса к ядерной энергетике, не изменились: увеличение глобального спроса на энергию, обеспокоенность по поводу изменения климата, энергетическая безопасность и неопределенность в отношении обеспеченности органическим топливом. Ожидается, что основной рост будет происходить в странах, у которых уже имеются действующие АЭС, в особенности в Азии, причем Индия и Китай остаются главными центрами расширения ядерной энергетике, а Российская Федерация также будет сохранять позиции устойчивого роста. Прогнозируемое падение роста на 7-8% в 2030 году отражает ускоренное свертывание мощностей ядерной энергетике в Германии, некоторые срочные остановы АЭС и пересмотр правительством запланированного расширения в Японии, а также временные задержки расширения мощностей в ряде других стран.

2. Меры, принятые странами после ядерной аварии на АЭС "Фукусима-дайти", носят различный характер. Ряд стран объявили о пересмотре своих программ. Бельгия, Германия и Швейцария предприняли дополнительные шаги по постепенному окончательному выводу из эксплуатации АЭС, в то время как другие страны подтвердили свои планы расширения ядерной энергетике. Многие государства-члены выполнили работы по критическому

---

<sup>2</sup> Начиная с «Обзора ядерных технологий – 2012», в части доклада, посвященной ядерным наукам и применениям, внимание будет сосредоточено на тематических направлениях, в которых за прошедшие годы произошли наиболее значительные события. В результате сокращения числа тематических направлений значительные тенденции и события рассматриваются более детально. Такой избирательный подход будет применяться и в «Обзоре ядерных технологий – 2013».

рассмотрению национальных оценок безопасности в 2011 году (часто называемые «стресс-тестами»), и были приняты обязательства в срочном порядке завершить любые оставшиеся оценки и осуществить необходимые корректирующие меры. В странах, рассматривающих возможность внедрения ядерной энергетики, интерес к ней остаётся высоким. Некоторые страны заявили, что они откладывают принятие решений о начале осуществления ядерно-энергетических программ, в то время как другие страны продолжили реализацию своих планов по внедрению ядерной энергетики.

3. В июне 2011 года Агентство созвало Конференцию по ядерной безопасности на уровне министров. Целями этой конференции были обсуждение первоначальной оценки аварии на АЭС "Фукусима", рассмотрение уроков, которые необходимо извлечь, содействие началу процесса повышения ядерной безопасности во всем мире, а также рассмотрение путей дальнейшего укрепления системы реагирования в случае ядерных аварий и аварийных ситуаций. В сентябре 2011 года Генеральная конференция приняла План действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, в котором определены 12 основных действий.

4. В издании 2011 года "Красной книги" Агентства по ядерной энергии (АЯЭ)/Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и МАГАТЭ оценки выявленных традиционных ресурсов урана со стоимостью добычи ниже 130 долл./кг U несколько снизились по сравнению с предыдущим изданием этой книги, но производство урана во всем мире значительно возросло главным образом из-за расширения объемов производства в Казахстане. В 2011 году было сообщено о новых ресурсах, выявленных в пределах многих урановых месторождений в Африке, а также о начале промышленного производства на руднике подземного выщелачивания «Ханимун» в Австралии. Цены спот на уран, которые достигли в конце 2010 года максимального уровня за два года (160 долл./кг U), упали после аварии на АЭС "Фукусима-дайти" и в конце года остановились на отметке 135 долл./кг U.

5. В декабре 2010 года в Международном центре по обогащению урана в Ангарске, Российская Федерация, был сформирован первый в мире запас низкообогащенного урана (НОУ) под эгидой Агентства в объеме 120 т НОУ. С 3 февраля 2011 года запас НОУ в Ангарске стал доступен для государств – членов Агентства. Кроме того, в марте 2011 года Совет управляющих одобрил предложение Соединенного Королевства о ядерной топливной гарантии (ЯТГ), к которому присоединились страны – члены Европейского союза (ЕС), Российская Федерация и Соединенные Штаты Америки. Цель ЯТГ – обеспечить гарантированное предоставление услуг по обогащению и гарантированные поставки НОУ для использования на АЭС. Кроме того, в течение 2011 года Секретариат продолжил разработку административных, финансовых, юридических и технических мер для создания координируемого Агентством банка НОУ, который будет служить в качестве гарантийного запаса топлива для выработки электроэнергии на АЭС. Агентство приняло предложение Казахстана о размещении этого банка на Ульбинском металлургическом заводе, и в 2012 году начались официальные переговоры для заключения соглашения с принимающим государством.

6. В области обращения с радиоактивными отходами Совет ЕС принял 19 июля 2011 года директиву, устанавливающую основные положения Сообщества по ответственному и безопасному обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами. В рамках этой директивы был принят ряд согласованных норм для всех стран – членов ЕС, основанных на нормах Агентства по безопасности. В Швеции в марте 2011 года шведская компания "СКБ", занимающаяся обращением с ядерным топливом и отходами, подала заявку на получение лицензии на строительство пункта окончательного захоронения отработавшего ядерного топлива в Форсмарке. В США в июле 2011 года Комиссия независимых экспертов по ядерному будущему Америки выпустила проект рекомендаций по разработке долгосрочного решения по обращению с отработавшим ядерным топливом и ядерными отходами США. Окончательный доклад был издан в январе 2012 года.

7. В 2011 году Продовольственная и сельскохозяйственная организация и Всемирная организация здоровья животных (ВОЗЖ) объявили об искоренении в глобальных масштабах чумы крупного рогатого скота – наиболее губительного инфекционного заболевания скота, которое в течение многих веков было основной причиной голода и нищеты. После ликвидации оспы в 1980 году это – вторая болезнь, искоренение которой было успешно достигнуто. Ядерные и связанные с ними методы внесли важный вклад в это достижение благодаря созданию и использованию диагностических тестов, таких как твердофазный иммуноферментный анализ (ТИФА), разработанный Лабораторией животноводства и ветеринарии МАГАТЭ.

8. Глобализация торговли пищевыми продуктами и перемещение животных привели к беспрецедентному росту новых и рецидивирующих заболеваний животных и растений, а также увеличению числа сельскохозяйственных вредителей. В 2011 году был достигнут прогресс в использовании ядерных методов в борьбе с другими трансграничными болезнями животных, включая птичий грипп (например, для отслеживания происхождения вспышки с использованием стабильных изотопов). Ученые изучают также возможность использования облучения для получения вирусных вакцин от ящура, лихорадки Рифт-Валли, гриппа и других вирусных патогенов. Для стерилизации насекомых в рамках программ борьбы с насекомыми-вредителями традиционно использовались излучатели кобальт-60 или цезий-137, обеспечивающие получение ионизирующего гамма-излучения. Вместе с тем в связи с ростом логистических трудностей, связанных с перевозкой, ученые изучают новые способы стерилизации насекомых, такие как использование автономных низкоэнергетических рентгеновских облучателей.

9. В результате аварии на АЭС "Фукусима" в районе ее расположения существенно пострадали большие площади сельскохозяйственных угодий и возникла необходимость решения новых задач по разработке сельскохозяйственных контрмер для борьбы с радиоактивным заражением. Многие методы, которые эффективно использовались в случае прошлых аварий (например, в Кыштыме и Чернобыле), такие как почвенные и агрохимические восстановительные меры, подвергаются дальнейшей проверке и частично применяются в районе Фукусимы, однако особые условия пострадавших территорий требуют разработки новых подходов для обеспечения безопасности пищевых продуктов и устойчивого производства сельскохозяйственной продукции.

10. В области охраны окружающей среды авария на АЭС "Фукусима" показала, что в целях соблюдения нормативных пределов и критериев качества может потребоваться проведение в течение очень короткого промежутка времени анализа огромного количества проб окружающей среды. Экспресс-методы позволяют сокращать время, требующееся для анализа, до нескольких часов или дней вместо нескольких дней или недель. Аттестация и реализация таких методов необходимы прежде всего в случае радионуклидов, создающих значительную радиологическую опасность во всех экологических средах, которые потенциально могут подвергнуться воздействию, а также применительно к пищевым продуктам и кормам.

11. Использование хорошо описанных и аттестованных процедур отбора и анализа проб особенно важно при проведении оценок воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. Агентство координирует работу глобальной сети аналитических лабораторий по измерению радиоактивности окружающей среды (АЛМЕРА) с целью обеспечения надежного и своевременного проведения анализа проб окружающей среды в случае аварийного или преднамеренного выброса радиоактивности. Аттестационные испытания, организованные в рамках АЛМЕРА в 2011 году, были сосредоточены на альфа-, бета- и гамма-излучателях в пробах почвы и воды. В 2012 году особое внимание будет уделено качеству и сравнимости результатов анализа аэрозольных проб. В отличие от технологий воздушной и наземной

гамма-спектрометрии *in situ*, широко применяемых для измерений проб окружающей среды, очевидно, что необходимо организовать подводный мониторинг *in situ* прибрежной морской среды посредством стационарной и мобильной гамма-спектрометрии с высокой разрешающей способностью. Это позволит проводить реконструкцию жидких радиоактивных выбросов и экспресс-скрининг радиоактивного загрязнения воды и отложений.

12. В области здоровья человека растет признание того, что надлежащее питание в течение первой тысячи дней жизни от зачатия до двухлетнего возраста может оказывать огромное влияние на динамику роста и способности к учебе ребенка, а также на риск развития таких хронических заболеваний, как диабет и болезни сердца, на более позднем этапе жизни человека. Ядерные методы, такие как изотопное разбавление с использованием стабильных изотопов, обеспечивают преимущества при осуществлении мониторинга относительно небольших изменений в композиционном составе тела и могут использоваться для оценки программы нутриционного вмешательства. В Чили в 2011 году успешное использование методов стабильных изотопов для оценки национальных интервенционных программ привело к разработке программы содействия развитию моторики и физической активности у детей в возрасте 6–24 месяцев.

13. В рамках усилий по повышению качества управления данными в радиотерапии наметилась растущая тенденция к использованию «систем регистрации и подтверждения» (СРП) в управлении базами данных для пациентов, проходящих лечение методами лучевой терапии. В целях содействия безопасному и эффективному лечению пациентов Агентство разработало в 2011 году руководящие принципы рационального менеджмента качества СРП, которые были одобрены всеми основными поставщиками радиотерапевтического оборудования. Различные методы диагностической визуализации играют все более важную роль в выявлении и лечении рака молочной железы. Прогресс, достигнутый за последнее время в технологии визуализации, наряду с достижениями в компьютерных технологиях позволил радикальным образом повысить эффективность воздействия на опухоль и улучшить планирование лучевой терапии. Агентство через свою Программу действий по лечению рака (ПДЛР) в сотрудничестве с партнерами, такими как Всемирная организация здравоохранения, продолжало в 2011 году оказывать государствам-членам поддержку в комплексной борьбе с раковыми заболеваниями.

14. В области водных ресурсов изотопные методы и связанные с ними технологии в сочетании с новыми разработками в области картирования, такими как использование географических информационных систем и геостатистических методов, помогают менеджерам по использованию водных ресурсов лучше определять границы, количественно оценивать и визуализировать водоносные горизонты и подземные водные объекты. В 2011 году использование недорогих и простых в эксплуатации устройств для анализа стабильных изотопов в воде на основе лазерной спектроскопии стало стандартной процедурой, применяемой исследователями во всем мире. Это позволяет им быть более автономными в работе по анализу стабильных изотопов для гидрологических оценок и, таким образом, экономить деньги и время. Например, изотопные исследования для оценки ресурсов подземных вод на полуострове Санта-Элена в Эквадоре обеспечили получение информации, которая помогла повысить доступность воды для многих жителей района.

15. Прогресс в ядерной визуализации тесно связан с производством новых радионуклидов, обладающих новыми физическими и химическими свойствами. В 2011 году получаемые с помощью генераторов радионуклиды стали более доступными для проведения позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в таких странах, как Австралия, Германия, Индия, Китай, Республика Корея, Соединенное Королевство, США, Франция и Япония, так как эти радионуклиды могут производиться непосредственно в лечебных учреждениях без

применения циклотрона. Другая тенденция, проявившаяся в 2011 году, состоит в том, что некоторые изготовители модернизировали свои циклотронные системы с целью увеличения тока пучка и получения более высоких энергий для удовлетворения нынешнего спроса на радионуклиды, используемые в таких диагностических методах, как ПЭТ и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), а также в терапевтических целях.

16. В области радиационных технологий на Международном совещании по радиационной обработке в 2011 году было сообщено о разработке высокоэффективной вакцины от малярии, которая находится на продвинутой стадии клинических испытаний. Вакцина основана на спорозоитах, ослабленных гамма-облучением. Она предотвращает заражение малярией на стадии кровяного русла, обеспечивая защиту человека от заболевания и блокируя передачу болезни.

17. В случае другой разработки технологии, связанной с производством биотоплива, о которой было сообщено в 2011 году, показано, что применение термического гидролиза в комбинации с облучением электронным пучком выжимок сахарного тростника приводит к увеличению выхода биоэтанола. Было продемонстрировано, что использование радиационно привитых волокнистых полимерных мембран, разработанных Научным управлением квантовых пучков Японского агентства по атомной энергии (ЯААЭ), позволило успешно провести выборочное удаление радиоактивного цезия с двух площадок, загрязненных в результате аварии на АЭС "Фукусима". В горной промышленности расширяется применение радиоактивных индикаторов и контрольно-измерительных приборов, основанных на ядерных технологиях, главным образом при проведении разведочных работ и для обеспечения эффективной эксплуатации природных ресурсов.

## А. Энергетические применения

### А.1. Ядерная энергетика сегодня

1. В 2011 году ядерная энергия продолжала играть важную роль в производстве электроэнергии в мире. По состоянию на 31 декабря 2011 года во всем мире в эксплуатации находилось 435 ядерных энергетических реакторов суммарной мощностью почти 369 ГВт (эл.)<sup>3</sup> (см. таблицу А-1). Это примерно на 7 ГВт (эл.) меньше суммарной мощности по сравнению с концом 2010 года, что можно объяснить главным образом тем, что число окончательных остановов было больше числа новых реакторов, подключенных к энергосетям. К энергосетям были подключены следующие новые энергоблоки: четвертый – АЭС "Линао" (1000 МВт (эл.)), второй, третий и четвертый – АЭС "Циньшань" (610 МВт (эл.)) и китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) (20 МВт (эл.)) в Китае; четвертый – АЭС "Кайга" (202 МВт (эл.)) в Индии; первый – АЭС "Бушер" (915 МВт (эл.)) в Исламской Республике Иран; второй – АЭС "Чашма" (300 МВт (эл.)) в Пакистане; и четвертый энергоблок Калининской АЭС (950 МВт (эл.)) в Российской Федерации.

2. Авария на АЭС "Фукусима-дайити" повлияла на общее количество запусков строительства новых реакторов в 2011 году. Устойчивый рост начиная с 2003 года, который достиг апогея с 16 запусками строительства в 2010 году, затормозился в 2011 году, когда было начато сооружение всего лишь четырех энергоблоков: третьего и четвертого – АЭС "Чашма" в Пакистане и седьмого и восьмого энергоблоков АЭС "Раджастхан" в Индии.

3. В 2011 году 13 реакторов были официально объявлены окончательно остановленными. В их число вошли не только энергоблоки 1-4 на АЭС "Фукусима-дайити" в Японии, но также и энергоблоки А и В АЭС "Библис", "Брунсбюттель", первый – АЭС "Изар", "Крюммель", первый – АЭС "Некарвестхайм", первый – АЭС "Филиппсбург" и "Унтервезер" в Германии. Энергоблок А2 АЭС "Олдбери" в Соединенном Королевстве был также закрыт из-за возраста реактора. Это – наибольшее число закрытий станций после 1990 года, когда авария на Чернобыльской АЭС привела к аналогичным последствиям. Для сравнения можно отметить, что в 2010 году было только одно закрытие, а в 2009 году – три закрытия станций.

4. По состоянию на 31 декабря 2011 года на стадии строительства было 65 реакторов. Это количество, хотя оно и уменьшилось по сравнению с предыдущим годом, остается очень большим. Кроме того, как и в предыдущих годах, расширение мощностей, а также развитие ядерной энергетики в кратко- и долгосрочной перспективе будут по-прежнему происходить главным образом в Азии (см. таблицу А-1). Фактически из общего количества строящихся реакторов не менее 44 находятся в Азии, и там же находятся 35 из 45 новых реакторов, подключенных в последнее время к энергосетям.

5. Несмотря на аварию на АЭС "Фукусима-дайити", в 2011 году во многих странах сохранились наметившиеся в последнее время тенденции повышения мощности и возобновления или продления сроков лицензий многих действующих реакторов. В Канаде Комиссия по ядерной безопасности Канады (КЯБК) выдала разрешение на пятилетнее продление лицензии на эксплуатацию второго энергоблока АЭС "Жантильи" в провинции Квебек. В Финляндии финская энергокомпания "Теоллисууден войма оий" (ТВО) завершила в 2011 году серию работ по модернизации на втором энергоблоке АЭС "Олкилуото", в результате которых мощность реактора (860 МВт (эл.)) была повышена на 20 МВт (эл.). Эти работы по

---

<sup>3</sup> ГВт (эл.) равен одному миллиарду ватт электрической мощности.

модернизации позволили довести суммарную мощность второго блока АЭС "Олкилуото" до 880 МВт (эл.) – на треть больше первоначальной мощности 660 МВт (эл.). Во Франции Французское управление по ядерной безопасности (АСН) одобрило продление еще на десять лет срока службы первого энергоблока АЭС "Фессенхайм". В Мексике в начале года после завершения четырехлетнего проекта модернизации мощность двух реакторов страны была увеличена на 20%. В Испании Совет по ядерной безопасности (СЯБ) одобрил продление на десять лет лицензии на эксплуатацию АЭС "Кофрентес" и двух энергоблоков АЭС "Аско". Кроме того, на 70 МВт (эл.) была повышена мощность двух реакторов АЭС "Альмарас". В Словакии энергокомпания "Словенске электрарне" (СЭ) завершила работы по программе модернизации и повышению мощности обоих энергоблоков АЭС "Богунице". В США Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) продлила еще на 20 лет срок действия лицензий на эксплуатацию: АЭС "Вермонт-Янки"; первого и второго энергоблоков АЭС "Прери-Айленд"; АЭС "Кеуони"; первого, второго и третьего энергоблоков АЭС "Пало-Верде"; блоков 1 и 2 АЭС "Салем" и АЭС «Хоуп-Крик». В результате в период с 2000 года общее число одобренных продлений лицензий в США достигло 71. 15 заявок на продление лицензий рассматриваются в настоящее время. Кроме того, в 2011 году КЯР было утверждено 5 заявок на повышение мощности, а 20 таких заявок находятся в настоящее время на стадии рассмотрения. Наконец, в октябре 2011 года было объявлено о первом после аварии ядерного реактора АЭС "Фукусима-дайти" выборе площадки для новой АЭС – район Пюхяйоки в Финляндии был выбран энергокомпанией "Фенновойма" для размещения площадки третьей АЭС страны.

6. Меры, принятые странами мира в результате аварии на АЭС "Фукусима-дайти", носят различный характер. Ряд стран объявили о проведении рассмотрений своих ядерно-энергетических программ, некоторые страны предприняли шаги, направленные на постепенный вывод из эксплуатации всех АЭС, тогда как другие страны подтвердили свое намерение расширить существующие программы. Авария не привела к изменению политики таких стран, как Индия, Китай и Российская Федерация, которые обеспечивают большую часть мирового роста мощностей ядерной энергетики, однако она привела к появлению вопросов в отношении будущей роли атомной энергии в некоторых странах. В Бельгии в октябре 2011 года было подтверждено принятое в 2003 году решение о закрытии наиболее старых ядерных энергетических реакторов страны в 2015 году, которое было пересмотрено в 2009 году, и правительство предложило удвоить размер специального налога на ядерную энергию, уплачиваемого ежегодно атомной промышленностью. Во Франции будущая роль ядерной энергетики стала предметом активных дискуссий. Правительство Германии одобрило в июне 2011 года пакет законодательных актов, ведущих к окончательному закрытию ядерных реакторов в Германии в процессе постепенного свертывания атомной энергетики, которое будет завершено к концу 2022 года. Более того, в августе 2011 года в Германии были объявлены окончательно остановленными восемь самых старых реакторных энергоблоков. Италия, страна, которая рассматривала вопрос о возрождении своей ядерно-энергетической программы после закрытия последней эксплуатируемой станции в 1990 году, после референдума, состоявшегося в июне 2011 года, приняла решение о том, что ядерная энергия не будет рассматриваться в качестве возможного варианта по меньшей мере еще пять лет, а, может быть, и больше. В Японии Совет по вопросам энергетики и окружающей среды объявил в июле 2011 года о намерении сократить зависимость страны от ядерной энергетики. Это намерение нашло подтверждение в "белой книге", опубликованной японским правительством в октябре 2011 года, в которой было заявлено, что зависимость Японии от ядерной энергии будет сокращена в максимально возможной степени в средне- и долгосрочной перспективе и что будет разработана новая энергетическая политика. По состоянию на конец ноября 2011 года в Японии в эксплуатации было менее 20% генерирующих мощностей АЭС. В Швейцарии сенат

проголосовал в сентябре 2011 года за принятие предложения о поэтапном отказе от ядерной энергетики к 2034 году. Для принятия окончательного решения планируется проведение всенародного референдума по данному вопросу<sup>4</sup>.

7. Тем не менее, несмотря на эти недавние события, ядерная энергетика остается важным вариантом не только для стран с существующими ядерно-энергетическими программами, но также и для развивающихся стран с растущими энергетическими потребностями. Некоторые страны заявили, что они откладывают принятие решений о начале осуществления ядерно-энергетических программ, в то время как другие страны продолжили реализацию своих планов по внедрению ядерной энергетики с учетом уроков, извлеченных из аварии на АЭС "Фукусима-дайити", по мере их появления. В сентябре 2011 года Исламская Республика Иран ввела в эксплуатацию свою первую АЭС. Ряд стран предпринял в 2011 году конкретные шаги на пути к строительству своих первых АЭС. Объединенные Арабские Эмираты и Турция продвигаются в осуществлении своих программ с участием поставщиков – соответственно Республики Корея и Российской Федерации. В октябре 2011 года Беларусь подписала контракт на строительство двух ядерных энергетических реакторов с российским "Атомстройэкспортом" (АСЭ). В ноябре 2011 года Бангладеш подписала межправительственное соглашение с Россией о поставке двух реакторов мощностью 1000 МВт (эл.), предусматривающее также поставку топлива, возврат отработавшего топлива, обучение и другие услуги. Кроме того, в ноябре Вьетнам подписал кредитное соглашение с Российской Федерацией для финансирования строительства первой вьетнамской АЭС.

8. В 2011 году в Бангладеш и ОАЭ Агентством были проведены миссии по Комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (ИНИР). План действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, который был принят Генеральной конференцией в сентябре 2011 года, призывает также новые страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, учитывать уроки, извлеченные из аварии на АЭС "Фукусима-дайити", при планировании своих инфраструктур и обращаться с просьбами о предоставлении услуг по рассмотрению, таких как миссии ИНИР, до ввода своих первых АЭС в эксплуатацию. В 2011 году Агентство продолжало предлагать государствам-членам широкий спектр услуг по оказанию помощи и поддержки, включая руководящие материалы и нормы, техническую помощь, услуги по рассмотрению, обучение, развитие соответствующего потенциала и создание сетей знаний, многие из которых пересматриваются с целью учета уроков Фукусимы. Небольшое число стран продолжает продвигаться вперед в осуществлении своих планов и стремится стать «осведомленными клиентами», поэтому помощь, оказываемая Агентством в этом отношении, в особенности новым организациям-владельцам/операторам, расширяется.

---

<sup>4</sup> Кроме того, в ноябре 2011 года Тайвань, Китай, объявил о новой ядерно-энергетической политике поэтапного отказа от ядерной энергетики, хотя при этом никаких определенных сроков указано не было.

Таблица А-1. Действующие и сооружаемые ядерные энергетические реакторы в мире  
(по состоянию на 31 декабря 2011 года)<sup>а</sup>

СТРАНА	Действующие реакторы		Сооружаемые реакторы		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2010 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2011 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	5,9	5,0	66	7
АРМЕНИЯ	1	375			2,4	33,2	37	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 927			45,9	54,0	247	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	15,3	32,6	151	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 884	1	1 245	14,8	3,2	41	3
ВЕНГРИЯ	4	1 889			14,7	43,3	106	2
ГЕРМАНИЯ	9	12 068			102,3	17,8	782	9
ИНДИЯ	20	4 391	7	4 824	29,0	3,7	357	3
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ	1	915			0,1		0	4
ИСПАНИЯ	8	7 567			55,1	19,5	285	6
КАНАДА	18	12 604			88,3	15,3	618	2
КИТАЙ	16	11 816	26	26 620	82,6	1,9	125	6
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	21	18 751	5	5 560	147,8	34,6	381	1
МЕКСИКА	2	1 300			9,3	3,6	39	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			3,9	3,6	67	0
ПАКИСТАН	3	725	2	630	3,8	3,8	52	8
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	33	23 643	10	8 188	162,0	17,6	1058	4
РУМЫНИЯ	2	1 300			10,8	19,0	19	11
СЛОВАКИЯ	4	1 816	2	782	14,3	54,0	140	7
СЛОВЕНИЯ	1	688			5,9	41,7	30	3
СОЕД. ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	101 465	1	1 165	790,4	19,3	3707	11
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	18	9 953			62,7	17,8	1495	2
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	84,9	47,2	398	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 736	1	1 600	22,3	31,6	131	4
ФРАНЦИЯ	58	63 130	1	1 600	423,5	77,7	1816	4
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 766			26,7	33,0	122	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 263			25,7	40,9	184	11
ШВЕЦИЯ	10	9 326			58,1	39,6	392	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 830			12,9	5,2	54	3
ЯПОНИЯ	50	44 215	2	2 650	156,2	18,1	1546	4
Всего <sup>b, c</sup>	435	368 791	65	61 962	2 518,0	12,3% <sup>d</sup>	14 792	3

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

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

6 энергоблоков мощностью 5018 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока мощностью 2600 МВт (эл.) в стадии строительства; на АЭС выработано 40,37 ТВт·час электроэнергии, что составляет 19,02% общего объема выработанной 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 (182 года, 1 месяц).

д. *Общепризнанная* доля ядерной энергии, произведенной в 2011 году.

## **А.2. Прогнозируемый рост ядерной энергетики**

9. Ежегодно Агентство публикует два обновленных прогноза глобального роста ядерной энергетики: низкий прогноз и высокий прогноз. Обновления 2011 года учитывают последствия аварии на АЭС "Фукусима-дайти". В обновленных прогнозах 2011 года общемировые мощности ядерной энергетики в 2030 году на 7-8% ниже, чем показатели, которые прогнозировались до аварии. Поэтому в глобальном масштабе ожидается, что авария замедлит или задержит рост ядерной энергетики, но не обратит его вспять. Согласно обновленному низкому прогнозу, установленная мощность АЭС в мире возрастет с 367 гигаватт (ГВт (эл.)) на сегодняшний день до 501 ГВт (эл.) в 2030 году, что ниже на 8% по сравнению с прогнозом прошлого года. В обновленном высоком прогнозе эта мощность возрастает до 746 ГВт (эл.) в 2030 году, на 7% ниже прошлогоднего прогноза. Тем не менее предполагается, что число ядерных реакторов, эксплуатируемых в 2030 году, увеличится приблизительно на 90 согласно низкому прогнозу и примерно на 350 в высоком прогнозе по сравнению с общим количеством 435 реакторов на конец 2010 года. По-прежнему ожидается, что рост будет происходить преимущественно в тех странах, где уже эксплуатируются АЭС.

10. Как и в предыдущие годы, самый высокий рост прогнозируется на Дальнем Востоке. К 2030 году мощность АЭС возрастет с 81 ГВт (эл.) на конец 2010 года до 180 ГВт (эл.) согласно низкому прогнозу и до 255 ГВт (эл.) по высокому сценарию. Эти уровни, однако, ниже прошлогодних прогнозных величин на 17 ГВт (эл.) и 12 ГВт (эл.) соответственно.

11. В Западной Европе предполагается наибольшее расхождение между низким и высоким прогнозами. Согласно низкому прогнозу производственные мощности АЭС в этом регионе снизятся со 123 ГВт (эл.) на конец 2010 года до 83 ГВт (эл.) в 2030 году. В соответствии с высоким прогнозом мощности ядерной энергетики вырастут до 141 ГВт (эл.), что на 17 ГВт (эл.) ниже роста, который прогнозировался в прошлом году. В Северной Америке согласно низкому прогнозу произойдет небольшое снижение производственных мощностей с 114 ГВт (эл.) на конец 2010 года до 111 ГВт (эл.) в 2030 году. В соответствии с высоким прогнозом мощности ядерной энергетики вырастут до 149 ГВт (эл.), и это на 17 ГВт (эл.) ниже роста, прогнозировавшегося в прошлом году.

12. К другим регионам, в которых осуществляются значительные ядерно-энергетические программы, относятся Восточная Европа (в том числе Российская Федерация), Ближний Восток и Южная Азия (включая Индию и Пакистан). Рост ядерной энергетики в этих регионах, согласно как низкому, так и высокому прогнозам, лишь немногим ниже уровней, которые прогнозировались в прошлом году. То же самое относится к Африке, Латинской Америке и Юго-Восточной Азии, где осуществляются менее масштабные программы.

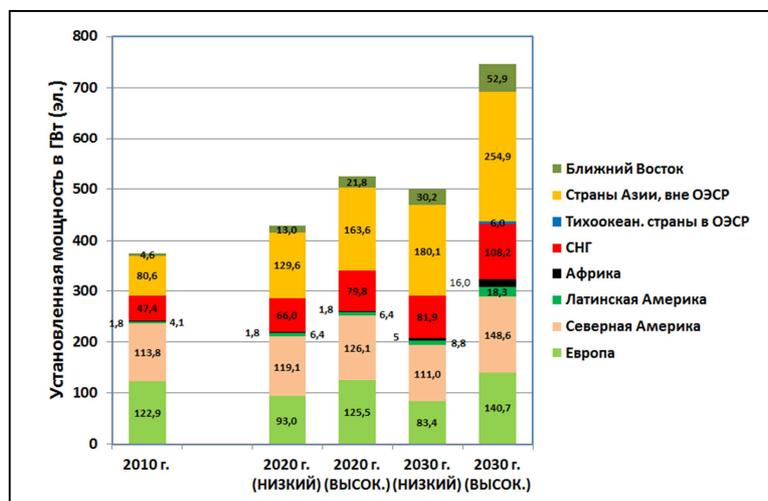


РИС. А-1. Рост генерирующих мощностей АЭС по регионам в 2010-2030 годах, низкий и высокий прогнозы МАГАТЭ 2011 года.

13. Низкий прогноз Агентства предполагает, что нынешние тенденции продолжатся с небольшими изменениями в политике, влияющими на ядерную энергетику. Однако в нем не обязательно предполагается, что все национальные плановые показатели развития ядерной энергетики будут достигнуты. Этот прогноз представляет собой консервативный, но вместе с тем вероятный сценарий. Что касается высокого прогноза, то он предполагает, что нынешние финансово-экономические кризисы будут преодолены относительно скоро и что показатели экономического роста и спроса на электроэнергию восстановятся, в особенности на Дальнем Востоке. Кроме того, высокий прогноз учитывает принятие жесткой глобальной политики, направленной на смягчение последствий изменения климата.

14. Продолжающийся рост, который прогнозируется в обоих сценариях – низком и высоком, означает, что факторы, способствовавшие повышению интереса к ядерной энергетике до аварии на АЭС "Фукусима-дайти", остаются без изменений. К ним относятся увеличение мирового спроса на энергоносители, а также озабоченность по поводу изменения климата, нестабильности цен на органическое топливо и безопасность энергоснабжения.

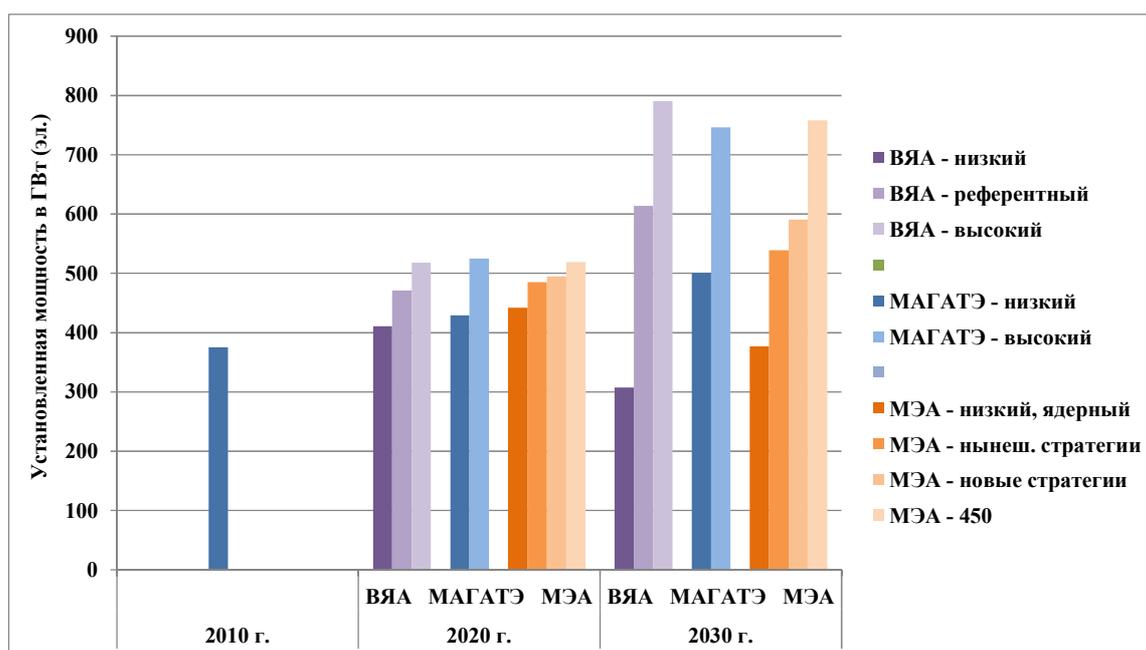


РИС. А-2. Сравнение ядерно-энергетических прогнозов МАГАТЭ (синий цвет), Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА; фиолетовый цвет) и “Обзора мировой энергетики – 2011” Международного энергетического агентства (МЭА; оранжевый цвет).

15. Международное энергетическое агентство (МЭА) ОЭСР также публикует прогнозы глобального развития ядерной энергетики. В “Обзоре мировой энергетики – 2011” МЭА представлены четыре сценария. В основной части рассматриваются три сценария, называемые соответственно “сценарий нынешних стратегий”, “сценарий новых стратегий” и “сценарий 450” (где 450 обозначает ограничение концентрации парниковых газов в атмосфере до 450 частей на миллион), однако авария на АЭС “Фукусима-дайити” заставила МЭА изучить последствия существенного отхода от атомной энергетики и представить дополнительный сценарий “сокращения использования ядерной энергии”. В исследовании по “сокращению использования ядерной энергии” предполагалось, что в государствах – членах ОЭСР новые реакторы не будут строиться и что вне ОЭСР будет построена лишь половина новых реакторов, предусматриваемых в сценарии новых стратегий. Также предполагалось, что срок эксплуатации существующих АЭС будет сокращен. Прогнозируемое снижение доли атомной энергетики, таким образом, привело к незначительному росту производства электроэнергии за счет использования возобновляемых источников, а также к значительному прогнозируемому увеличению объемов потребления угля, природного газа, росту цен на энергоносители и выбросов парниковых газов (ПГ). Такое повышение выбросов ПГ делает почти невозможным сдерживание роста средней мировой температуры в пределах двух градусов Цельсия относительно доиндустриальных уровней, вызывая то, что сейчас рассматривается в науке климата как опасное антропогенное вмешательство в климатическую систему. На рис. А-2 приведено сравнение прогнозов Агентства, сценариев МЭА и прогнозов Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА)<sup>5</sup>. В низком прогнозе МАГАТЭ, в сценарии нынешних стратегий МЭА и референтном сценарии ВЯА используются аналогичные допущения “обычного хода событий”

<sup>5</sup> ”The Global Nuclear Fuel Market: Supply and demand 2011-2030” (Мировой рынок ядерного топлива: спрос и предложение – 2011–2030 годы), Всемирная ядерная ассоциация, Лондон, 2011.

(инерционный сценарий), и все они приводят к получению сравнимых результатов. Высокие прогнозы указанных организаций также являются сравнимыми, как и низкие сценарии развития ядерной энергетики, представленные МЭА и ВЯА.

### **А.3. Топливный цикл<sup>6</sup>**

#### **А.3.1. Ресурсы и производство урана**

16. Каждые два года МАГАТЭ и АЯЭ/ОЭСР публикуют так называемую "Красную книгу" – "Уран: ресурсы, производство и спрос". Последний выпуск был опубликован в июле 2012 года. В издании 2011 года общий объем выявленных ресурсов урана в традиционных месторождениях, добыча которых возможна со стоимостью менее 130 долл./кг U, оценивается в 5,43 млн. тонн урана (Мт U). Это на 1,4% меньше оценки, данной в предыдущем издании. Кроме того, согласно оценкам, имеется 1,8 Мт U выявленных традиционных ресурсов со стоимостью добычи от 130 до 260 долл./кг U, и суммарный объем выявленных традиционных ресурсов со стоимостью добычи менее 260 долл./кг U составляет 7,1 Мт U. Для справки можно указать, что до марта спотовая цена на уран в 2011 году колебалась в пределах от 165 до 169 долл./кг U, что представляет собой максимум за два года, и затем она упала до 150 долл./кг U после аварии на АЭС "Фукусима-дайти". Спотовая цена постепенно снизилась до 132 долл./кг U в августе, но к концу года она повысилась до 135 долл./кг U.

17. К неразведанным ресурсам относятся ресурсы, которые, как ожидается, будут найдены в пределах или вблизи известных месторождений, и более умозрительные ресурсы, которые, согласно предположениям, имеются в благоприятных с геологической точки зрения, но не разведанных районах. Совокупный объем неразведанных ресурсов (прогнозируемых и умозрительных), о котором сообщается в "Красной книге", составляет более 10,43 Мт U, что несколько больше 10,40 Мт U, о которых сообщалось в предыдущем издании (опубликованном в 2010 году). Объем неразведанных традиционных ресурсов по оценкам составляет более 6,2 Мт U со стоимостью добычи менее 130 долл./кг U и еще 0,46 Мт U со стоимостью от 130 до 260 долл./кг U. Имеются также оценки существования еще 3,7 Мт U умозрительных ресурсов, для которых производственные затраты не определены.

18. В 2011 году было сообщено о дополнительных ресурсах, открытых на целом ряде урановых месторождений в Африке, а именно в Ботсване, Замбии, Исламской Республике Мавритания, Малави, Мали, Намибии и Объединенной Республике Танзания, где продолжают интенсивные работы по разведке урановых руд. Проект «Мкужу-Ривер» в Объединенной Республике Танзания вышел на продвинутую стадию технико-экономического обоснования. Из Южной Америки также поступили сообщения об открытии дополнительных или новых ресурсов в Гайане, Колумбии, Парагвае и Перу.

19. Ресурсную базу дополняют нетрадиционные ресурсы урана и тория. К нетрадиционным ресурсам относится уран, потенциально извлекаемый из фосфатов, руд цветных металлов, карбонатитов, сланцев и лигнитов; по существу последние представляют собой ресурсы, из которых уран может быть извлечен как побочный продукт лишь в незначительных количествах. Уран, содержащийся в морской воде, можно также считать дополнительным нетрадиционным ресурсом. В настоящее время о наличии нетрадиционных ресурсов сообщают лишь немногие страны. Согласно нынешним оценкам, запасы урана, потенциально

---

<sup>6</sup> Более подробная информация о деятельности Агентства в области ядерного топливного цикла содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2011>), на веб-сайте GovAtom/GC и на странице [www.iaea.org/NuclearFuelCycleAndWaste](http://www.iaea.org/NuclearFuelCycleAndWaste).

извлекаемого из фосфатов, руд цветных металлов, карбонатита, черных сланцев и лигнита, составляют порядка 8 Мт U. «Юрэниум эквитииз лимитед» (ЮЭЛ) объявила, что в мае 2012 года должно начать работу ее экспериментальное предприятие по восстановлению урана из фосфорной кислоты методом ионного обмена. Если этот метод окажется успешным, промышленное производство предполагается начать приблизительно в 2015 году.

20. Согласно имеющимся оценкам, мировые ресурсы тория составляют примерно 6 миллионов тонн. Хотя торий используется в качестве топлива на демонстрационной основе, прежде чем его можно будет рассматривать наравне с ураном, требуется еще значительная дальнейшая работа. В Индии в 2011 году начался процесс выбора площадки для запланированного к строительству экспериментального усовершенствованного тяжеловодного реактора (АНWR) мощностью 300 МВт (эл.), работающего на ториевом топливе. Ввод в эксплуатацию этого реактора ожидается к 2020 году, однако полная промышленная эксплуатация АНWR начнется не раньше 2030 года.

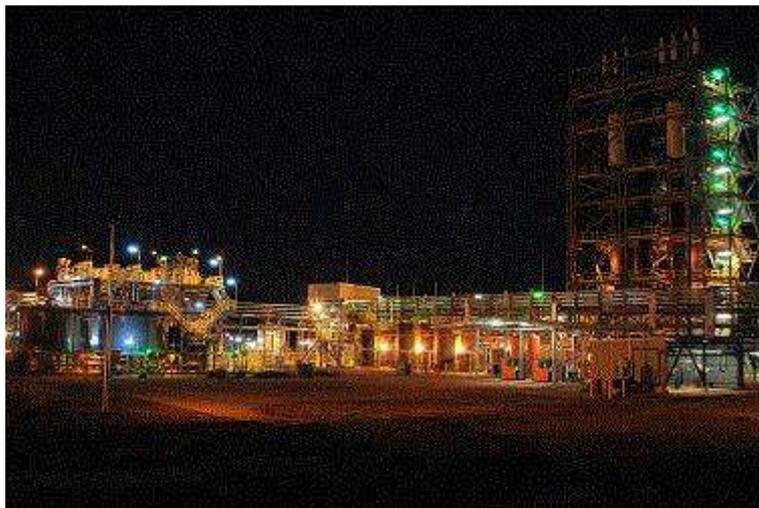
21. Данные об общемировых расходах на разведку и разработку месторождений представлены в "Красной книге" только по 2010 год включительно. Они составили в 2008 году в общей сложности 2076 млрд. долл. и выросли на 22% по сравнению с данными за 2008 год, приведенными в предыдущем издании "Красной книги".

22. В 2010 году суммарный мировой объем производства урана превысил 54 670 т U, что на 6% больше по сравнению с 51 526 т U, произведенными в 2009 году. Производство урана в 2011 году, согласно оценкам, возрастет приблизительно до 57 230 т U. На Австралию, Казахстан и Канаду приходилось 62% мирового производства в 2010 году, и эти три страны вместе с Намибией, Нигером, Российской Федерацией, США и Узбекистаном обеспечивали 92% общего объема производства. В Казахстане производство урана в 2010 году увеличилось более чем на 27% по сравнению с предыдущим годом, и он уже второй год подряд является крупнейшим производителем урана в мире (переместившись с пятого места в 2003 году на второе в 2008 году). Кроме того, в 2011 году общий объем производства урана в Казахстане, как предполагают, возрос на 12% по сравнению с 2010 годом.

23. В сентябре 2011 года было сообщено о начале в Австралии промышленного производства на руднике «Ханимун» с добычей методом подземного выщелачивания<sup>7</sup>. После выхода на полную эксплуатационную мощность ожидается, что производительность рудника достигнет 400 т U/год (275 т U в 2012 году). Кроме того, рудничный центр "Олимпик Дэм" в Южной Австралии получил положительное заключение экологической экспертизы по проекту расширения производства, предусматривающего разработку нового открытого карьера рядом с существующим подземным рудником. Этот проект позволит увеличить годовую производительность рудника с нынешних 3800 т U до 19 000 т U. Кроме того, в декабре 2010 года началась пробная эксплуатация уранового рудника "Азелик" в Нигере, и выход на полную мощность 700 т U/год ожидается в 2012 году.

---

<sup>7</sup> Традиционный метод добычи предусматривает выемку руды из недр с ее последующей обработкой для извлечения требующихся полезных ископаемых. При подземном выщелачивании (ПВ) руда остается на месте в недрах, и выемка полезных ископаемых осуществляется путем их растворения в выщелачивающем растворе и перекачки насыщенного раствора на поверхность, где полезные ископаемые могут быть извлечены из раствора. Следовательно, в этом случае нарушения земной поверхности носят ограниченный характер и хвосты или пустая порода не образуются.



*РИС. А-3. Урановый рудник "Ханимун", Австралия, в сентябре 2011 года начал промышленное производство.*

24. Производство урана в 2010 году лишь приблизительно на 85% покрывало предполагаемые потребности реакторов во всем мире, составлявшие 63 875 т U. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: военных запасов природного урана; запасов обогащенного урана; урана, переработанного из отработавшего топлива; смешанного оксидного (МОХ) топлива, в котором уран-235 частично замещен плутонием-239 из переработанного отработавшего топлива; и повторного обогащения хвостов обедненного урана (обедненный уран содержит менее 0,7% урана-235). Исходя из оценочных темпов потребления в 2010 году прогнозируемый срок эксплуатации выявленных традиционных ресурсов объемом 5,43 Мт U со стоимостью добычи менее 130 долл./кг U составляет примерно 80 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.

25. Согласно прогнозам, выполненным в 2010 году, к 2035 году ежегодные мировые потребности реакторов в уране должны возрасти до 97 645 – 136 835 т U. Прогнозируемые в настоящее время мощности по производству первичного урана, включая существующие, одобренные к реализации, запланированные и потенциальные производственные центры, могут удовлетворить прогнозируемый мировой спрос на уран до 2028 года, если исходить из высокого прогноза, или до 2035 года согласно низкому прогнозу.

### **А.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива**

26. Шесть стран (Канада, Китай, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США и Франция) эксплуатируют промышленные установки по конверсии закиси-оксида урана ( $U_3O_8$ ) в гексафторид урана ( $UF_6$ ), и небольшие установки по конверсии эксплуатируются в Аргентине, Пакистане и Японии. Сухая технология отгонки летучих фторидов используется только в США, в то время как на всех других предприятиях по конверсии применяется мокрый процесс. Суммарные мировые мощности по конверсии остались без изменения и составили примерно 75 000 тонн природного урана (т U по  $UF_6$ ) в год. Однако в данной области существенные

изменения ожидаются во Франции (установка "Комурхекс II" компании "Арева") и США (завод "Метрополис уоркс" фирмы "Ханиуэлл"). Суммарный спрос в настоящее время на конверсионные услуги (если предположить, что концентрация U-235 в хвостах обогащения равна 0,25%)<sup>8</sup> равен 59 000 – 65 000 т U/год.

27. В настоящее время общемировые мощности по обогащению составляют приблизительно 65 млн. единиц работы разделения (ЕРР) в год при общих потребностях около 45 млн. ЕРР/год. Промышленные установки работают в Китае (под эгидой Национальной ядерной корпорации Китая (НЯКК)), Российской Федерации (Росатом), США (компании "ЮСЭК" и "Уренко") и Франции (компания "АРЕВА"). Компания "Уренко груп" эксплуатирует центрифужные установки в Германии, Нидерландах, Соединенном Королевстве и США. Небольшие установки по обогащению имеются также в Аргентине, Бразилии, Индии, Исламской Республике Иран, Пакистане и Японии.

28. В США ведется разработка двух новых промышленных установок по обогащению с использованием технологии центрифужного обогащения: установки «Игл Рок» компании «АРЕВА» и Американского центрифужного завода (АЦЗ). В октябре 2011 года была получена лицензия на строительство обогатительной установки «Игл Рок» компании «АРЕВА».

29. Аргентина проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области новых технологий обогащения, таких как центрифужное и лазерное обогащение, и одновременно модернизирует свой газодиффузионный завод в Пильканиеу.

30. В 2012 году компания "Джапан ньюклар фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) планирует начать промышленную эксплуатацию усовершенствованных центрифужных каскадов на заводе в Роккасё, префектура Аомори, и к 2020 году увеличить нынешние мощности со 150 000 до 1,5 млн. ЕРР/год. В соответствии с соглашением между Росатомом и компанией «Тосиба» в Японии планируется построить новый завод по обогащению с использованием российской центрифужной технологии.

31. В июне 2011 года сорок шесть стран Группы ядерных поставщиков (ГЯП) согласовали новые международные условия торговли технологиями по обогащению урана и переработке отработавшего топлива. Согласно новым руководящим принципам, страны, которые хотят получить ядерные технологии, должны выполнить ряд требований, в том числе: полное соблюдение Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО), отсутствие нарушений гарантий, отмеченных международными ядерными регулирующими органами, соблюдение соглашений о гарантиях МАГАТЭ, а также соблюдение международных норм безопасности.

32. В 2011 году совокупные мировые мощности по деконверсии оставались на уровне около 60 000 т UF<sub>6</sub>/год после ввода в эксплуатацию в 2010 году трех установок по деконверсии — двух в США (в Падьюке, шт. Кентукки, и Портсмуте, шт. Огайо) и одной в Российской Федерации (установка "W-ЭХЗ" в Красноярске).

---

<sup>8</sup> Остаточное содержание в хвостах или концентрация U-235 в обедненной фракции косвенно определяет объем работы, который должен быть выполнен в случае конкретного количества урана для получения данной концентрации в конечном продукте. Более высокое остаточное содержание изотопа в хвостах при данном количестве обогащенного урана и данной концентрации в конечном продукте приводит к уменьшению необходимой степени обогащения, однако при этом возрастают потребности в природном уране и конверсии, и наоборот. Содержание урана в хвостах может широко варьироваться и обуславливать изменение потребностей в услугах по обогащению.

33. Сегодня для большинства видов топлива на рынке существует несколько конкурирующих друг с другом поставщиков. Общемировые мощности по изготовлению топлива составили около 13 000 т U в год (обогащенного урана в тепловыделяющих элементах и тепловыделяющих сборках) по топливу легководных реакторов (LWR) и около 4 000 т U в год (природного урана в тепловыделяющих элементах и тепловыделяющих сборках) по топливу корпусных тяжеловодных реакторов (PHWR). С целью получения природного уранового топлива для PHWR уран очищается и конвертируется в оксид урана (UO<sub>2</sub>) в Аргентине, Индии, Канаде, Китае и Румынии. Годовые потребности в услугах по изготовлению топлива для LWR оставались равными приблизительно 7000 тонн обогащенного урана в топливных сборках, однако ожидается, что к 2020 году они возрастут примерно до 9500 т U/год. Что касается PHWR, то потребности составили 3000 т U/год. В Китае ведется расширение существующих мощностей, а в Казахстане и Украине планируется сооружение новых установок по изготовлению топлива. Запланированная установка по изготовлению топлива в Казахстане, предполагаемая мощность которой составляет 1200 т U/год, является совместным предприятием компаний "АРЕВА" и "Казатомпром", и ее сооружение планируется завершить в 2014 году.

34. Предприятия по рециклированию топлива обеспечивают поставки вторичного ядерного топлива путем использования регенерированного урана (RepU) и MOX-топлива. В настоящее время в г. Электросталь, Российская Федерация, для компании "АРЕВА" производится приблизительно 100 т RepU/год. Одна производственная линия установки компании "АРЕВА" в г. Роман, Франция, имеет лицензию на изготовление топлива в объеме 150 т RepU в год, и топливные сборки для реакторов PWR такого типа уже поставлялись для реакторов Бельгии, Соединенного Королевства и Франции.

35. Нынешние мощности по изготовлению MOX-топлива составляют около 250 т тяжелого металла (ТМ); основные заводы расположены в Индии, Соединенном Королевстве и Франции и несколько предприятий меньшей мощности находятся в Российской Федерации и Японии. В Японии компания «ДжНФЛ» строит новый завод по изготовлению MOX-топлива (мощностью 130 т ТМ MOX) в Роккасё, и завершение его строительства планируется в марте 2016 года. В Российской Федерации в Железногорске (Красноярск-26) строится завод по изготовлению MOX-топлива для реактора на быстрых нейтронах БН-800. В Российской Федерации имеются также пилотные предприятия в Димитровграде в Научно-исследовательском институте атомных реакторов (НИИАР) и в Озерске в ПО "Маяк". В Соединенном Королевстве на заводе по производству MOX-топлива в Селлафилде сооружается новая установка по изготовлению MOX-топлива, что позволит выполнять новые долгосрочные контракты на поставку MOX-топлива. В США строятся дополнительные предприятия по изготовлению MOX-топлива в целях использования избыточного оружейного плутония. В настоящее время во всем мире MOX-топливо используется в 32 реакторах на тепловых нейтронах.

#### ***Обеспечение гарантированных поставок***

36. В декабре 2010 года в Международном центре по обогащению урана в Ангарске, Российская Федерация, под эгидой Агентства был сформирован первый в мире запас НОУ. Этот запас НОУ в объеме 120 тонн НОУ, треть материала в котором имеет степень обогащения 4,95%, в декабре 2010 года был проверен инспекторами по гарантиям МАГАТЭ. В настоящее время его стоимость составляет более 300 миллионов долл., и он стал доступен для государств – членов МАГАТЭ, испытывающих перебои с поставками НОУ по причинам, не связанным с техническими или коммерческими соображениями. МАГАТЭ будет предоставлять НОУ по рыночным ценам имеющим на это право государствам-членам для целей выработки электроэнергии на АЭС, а вырученные средства будут использоваться для пополнения запаса НОУ. Российская Федерация берет на себя расходы, связанные с НОУ,

находящимся на хранении, а также его содержанием, обеспечением его безопасности, физической безопасности (сохранности) и применением гарантий. Соглашение между правительством Российской Федерации и МАГАТЭ о создании на территории Российской Федерации физического запаса НОУ и поставках МАГАТЭ для его государств-членов НОУ из этого запаса, подписанное в Вене 29 марта 2010 года, вступило в силу 3 февраля 2011 года. С этой даты запас НОУ в Ангарске стал доступен для государств – членов МАГАТЭ.

37. В марте 2011 года Совет управляющих МАГАТЭ одобрил предложение о гарантированном предоставлении услуг по обогащению и гарантированных поставках низкообогащенного урана для использования на АЭС (ЯТГ), внесенное Соединенным Королевством совместно с государствами – членами Европейского союза, Российской Федерацией и Соединенными Штатами Америки. Оно содержало проект типового соглашения о ЯТГ, в соответствии с которым государство, поставляющее НОУ или предоставляющее услуги по обогащению, может согласиться не прерывать поставки получателям, которые соблюдают международные обязательства и опубликованные нормы лицензирования экспорта. Это предложение было изначально представлено Соединенным Королевством в 2007 году и доработано в 2009 году.

38. Кроме того, в декабре 2010 года Совет управляющих одобрил создание банка НОУ МАГАТЭ, т.е. физического запаса НОУ, который будет находиться под юрисдикцией и контролем МАГАТЭ. Цель этого банка НОУ – служить механизмом, поддерживающим коммерческий рынок, но не нарушающим его функционирование в случае возникновения перебоев в поставках НОУ государству-члену и невозможности восстановления этих поставок коммерческими средствами при условии, что данное государство отвечает критериям использования права на выделение НОУ, установленным Советом. В 2011 году Секретариат МАГАТЭ продолжил работу по разработке необходимых административных, финансовых, юридических и технических механизмов. В мае 2011 года МАГАТЭ распространило критерии отбора принимающего государства с подходящей площадкой для размещения Банка НОУ МАГАТЭ и предложило государствам-членам, желающим разместить у себя Банк НОУ МАГАТЭ, заявить о своей заинтересованности. Казахстан был единственным государством-членом, которое официально заявило о своей заинтересованности в этом, и Агентство приняло предложение Казахстана о размещении Банка на Ульбинском металлургическом заводе. В 2012 году начались официальные переговоры для заключения соглашения с принимающим государством, и в том же 2012 году группы МАГАТЭ посетили площадку на Ульбе, чтобы провести детальную оценку потребностей в модернизации систем безопасности и физической безопасности. Для создания Банка НОУ государства-члены, ЕС и Инициатива по сокращению ядерной угрозы (ИЯУ) взяли обязательства по взносам на сумму свыше 150 млн долл. К концу 2011 года обязательства по взносам были полностью выполнены Норвегией (5 млн долл.), Соединенными Штатами (около 50 млн долл.) и ИЯУ (50 млн долл.); ЕС внес 10 млн евро из принятых им обязательств на сумму 25 млн евро, и в завершающей стадии находилось заключение договоренностей с Кувейтом (10 млн долл.) и Объединенными Арабскими Эмиратами (10 млн долл.).

39. Создание таких механизмов обеспечения гарантированных поставок не будет затрагивать, ставить под угрозу или ограничивать права государств-членов, включая право создавать или расширять собственный производственный потенциал в области ядерного топливного цикла.

40. Кроме того, в августе 2011 года в США открылся доступ к Гарантированному американскому запасу ядерного топлива (АЗЯТ). В нем имеется 230 т НОУ со степенью обогащения 4,95%.

### **А.3.3. Конечные стадии ядерного топливного цикла**

41. В 2011 году из всех ядерных энергетических реакторов было выгружено приблизительно 10 500 т ТМ отработавшего топлива. Общий совокупный объем отработавшего топлива, которое было выгружено во всем мире по состоянию на декабрь 2011 года, составляет приблизительно 350 500 т ТМ, из которых приблизительно 240 000 т ТМ хранятся в приреакторных (ПР) или вне реакторных (ВР) хранилищах. Менее одной трети суммарного объема отработавшего топлива, выгруженного во всем мире – примерно 100 000 т ТМ – было подвергнуто переработке. В 2011 году общемировые мощности по переработке промышленного масштаба, сосредоточенные в четырех странах (Индии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве и Франции), составили приблизительно 4800 т ТМ/год.

42. К середине 2011 года Китай завершил холодные испытания своего пилотного завода по переработке мощностью 50 т ТМ/год, а также 5%-ные горячие испытания (5% раствора отработавшего топлива + 95% имитированного раствора). Продолжаются научные исследования и разработки, обеспечивающие техническую поддержку устойчивой эксплуатации этого пилотного завода по переработке. Китай планирует также построить промышленное предприятие по переработке, и начат процесс выбора площадки. Кроме того, на АЭС "Циньшань" была завершена демонстрация прямого использования рециклированного урана в качестве топлива в реакторе CANDU. В 2010 и 2011 годах в первом энергоблоке АЭС "Циньшань" были облучены 24 тепловыделяющие сборки из 37 элементов для реактора CANDU, содержащие эквивалент природного урана (ЭПУ), полученный смешиванием регенерированного и обедненного урана, и были достигнуты хорошие характеристики топлива.

43. В Индии продолжается строительство комбината топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах (FRFCF) в Калпаккаме. В состав комбината входит завод по изготовлению и переработке топлива, завод по изготовлению подборок для активной зоны реакторов, завод по производству оксида урана из регенерированного сырья и завод по обращению с отходами, которые будут обслуживать будущий прототипный реактор-размножитель на быстрых нейтронах (PFBR) мощностью 500 МВт (эл.).

44. В Японии строительство промышленного завода по переработке топлива производительностью 800 т ТМ/год в Роккасё было почти завершено, но в результате землетрясения и цунами, произошедших 11 марта 2011 года, дальнейшие работы были приостановлены.

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

45. Объем радиоактивных отходов в мире, о хранении которых было сообщено на конец 2010 года (самые последние из имеющихся данных по годам), составил приблизительно 61,4 млн. м<sup>3</sup> короткоживущих низко- и среднеактивных отходов (НСАО-КЖ)<sup>9</sup>, 13,9 млн. м<sup>3</sup> долгоживущих низко- и среднеактивных отходов (НСАО-ДЖ) и 423 000 м<sup>3</sup> высокоактивных отходов (ВАО) (см. таблицу А-2).

---

<sup>9</sup> Заметное увеличение объемов хранящихся НСАО-КЖ со времени выпуска Обзора ядерных технологий – 2011 объясняется включением новых данных по хранению радиоактивных отходов низкого уровня активности.

Таблица А-2. Оценка объемов радиоактивных отходов в мире в 2010 году (последние данные)<sup>10</sup>

<b>Класс отходов<sup>11</sup></b>	<b>Хранение<sup>12</sup></b> (м <sup>3</sup> )	<b>(Совокупная утилизация)</b> (м <sup>3</sup> )
<b><i>Короткоживущие низко- и среднеактивные отходы (НСАО-КЖ)</i></b>	<b>61 381 000</b>	<b>24 720 000</b>
<b><i>Долгоживущие низко- и среднеактивные отходы (НСАО-ДЖ)</i></b>	<b>13 901 000</b>	<b>625 000</b>
<b><i>Высокоактивные отходы (ВАО)</i></b>	<b>423 000</b>	<b>4 000</b>

Источник: NEWMDB, 2011 год, и другие ссылки<sup>13</sup>.

46. Суммарный объем утилизации радиоактивных отходов на конец 2010 года составил приблизительно 24,7 млн. м<sup>3</sup> НСАО-КЖ; 625 000 м<sup>3</sup> НСАО-ДЖ; и захоронение примерно 4000 м<sup>3</sup> ВАО, главным образом образовавшихся в результате чернобыльской аварии. Малое соотношение между объемами захоронения и хранения НСАО-ДЖ и ВАО отражает общий глобальный дефицит пунктов захоронения этих двух классов отходов.

47. В мире функционируют или разрабатываются пункты захоронения для всех категорий радиоактивных отходов. Варианты захоронения включают траншейное захоронение очень низкоактивных отходов (ОНАО; Испания, Словакия, Франция, Швеция), отходов радиоактивных материалов природного происхождения (РМПП) (Малайзия, Сирийская Арабская Республика) и низкоактивных отходов (НАО) в засушливых районах (Исламская Республика Иран, Южная Африка, США); приповерхностные инженерные сооружения для НАО (Бельгия, Болгария, Индия, Испания, Литва, Румыния, Словакия, Словения, Соединенное Королевство, Франция, Чешская Республика, Япония); захоронение на средних глубинах низко- и среднеактивных отходов (НСАО; Венгрия, Республика Корея, Норвегия, Чешская

<sup>10</sup> Цифры, указанные в таблице А-2, представляют собой оценки, и их не следует принимать за точные данные учета запасов радиоактивных отходов, обращение с которыми в настоящее время осуществляется в мире. Помимо обычных возможных расхождений в оценках количеств находящихся на хранении отходов, ежегодно возникающих из-за изменений в массе и объеме отходов в процессе обращения с отходами, общее количество учтенных отходов непрерывно растет по мере присоединения новых государств-членов к Сетевой базе данных Агентства по обращению с отходами (NEWMDB) и в результате предоставления ими недостающих данных, в том числе данных за предыдущие годы.

<sup>11</sup> Информация об инвентарном количестве в настоящее время фиксируется в NEWMDB в соответствии с рекомендациями по 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"). Эти рекомендации недавно были заменены новой схемой классификации, приведенной в документе General Safety Guide, *Classification of Radioactive Waste (IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, Vienna, 2009)* (Общее руководство по безопасности "Классификация радиоактивных отходов" (Серии норм МАГАТЭ по безопасности, № GSG-1). Данные в NEWMDB в настоящее время приводятся в соответствии с новой схемой классификации.

<sup>12</sup> До хранения или захоронения отходы обрабатываются и кондиционируются, а также проходят через различные стадии манипулирования. Масса и объем радиоактивных отходов поэтому непрерывно изменяются в процессе обращения с отходами перед их захоронением. Это может приводить каждый год к появлению расхождений в оценках количеств находящихся на хранении отходов.

<sup>13</sup> В число источников, дополняющих NEWMDB, входят имеющиеся в открытом доступе национальные доклады, представляемые в соответствии с Объединенной конвенцией о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, а также другие опубликованные данные.

Республика, Япония) и отходов РМПП (Норвегия); скважинное захоронение НАО (США) и изъятых из употребления закрытых радиоактивных источников (ИЗРИ; Гана, Малайзия, Филиппины); и глубокие геологические хранилища для НСАО (Германия, США) и ВАО и/или отработавшего топлива (Финляндия, Франция, Швеция).

48. Бельгия планирует захоранивать низко- и среднеактивные короткоживущие отходы в пункте поверхностного захоронения в муниципалитете Дессель. В 2009 году Бельгийское агентство по радиоактивным отходам и обогащенным делящимся материалам (ОНДРАФ/НИРАС) начало подготовку обоснования безопасности, включая оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС), которое будет завершено в 2012 году. Затем ОНДРАФ/НИРАС подаст заявку на получение лицензии на строительство и эксплуатацию. Ввод объекта в эксплуатацию намечен на 2016 год.

49. В мае 2011 года на АЭС «Козлодуй» в Болгарии было официально открыто хранилище отработавшего ядерного топлива.

50. В апреле 2011 года в Канаде компания "Онтарио пауэр дженерейшн" официально представила заключение экологической экспертизы и окончательную документацию для получения лицензии на подготовку площадки и сооружение глубинного геологического хранилища НСАО вблизи ядерной площадки «Брус». В настоящее время осуществляется технико-экономическое обоснование для оценки пригодности площадки Чок-Риверской лаборатории (ЧРЛ) для размещения геологической установки для обращения с отходами (ГУОО), хранилища с номинальной глубиной 500 м, в котором предлагается изолировать и содержать НАО и среднеактивные отходы (САО), образующиеся на площадке ЧРЛ.

51. В Дании в исследовании, представленном правительству в мае 2011 года, были определены шесть возможных мест расположения хранилища НСАО страны.

52. Во Франции в 2012 году вступит в стадию промышленной разработки проект «Сижео» – проект захоронения высокорadioактивных отходов, образующихся в результате работы АЭС и переработки их отработавшего топлива.

53. В Олкилуото, Финляндия, компания "Посива", занимающаяся обращением с ядерными отходами, ведет строительство подземной лаборатории для исследования скальных пород «ОНКАЛЮ», и в 2010 году была достигнута глубина окончательного захоронения. Компания «Посива» намерена в конце 2012 года подать правительству Финляндии заявку на получение лицензии на строительство хранилища на этой площадке и начать окончательное захоронение в 2020 году.

54. В Гане в Комиссии по атомной энергии Ганы в Аккре прошла церемония открытия хранилища радиоактивных отходов, предназначенного для безопасного и надежного хранения радиоактивных источников, которые более не используются или в которых более нет необходимости.

55. В Германии в октябре 2010 года после десятилетнего моратория возобновились исследования в копиях Горлебена, предполагаемом месте захоронения ВАО/отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Они осуществляются компанией «ДБЕ». Компания отвечает также за ведущееся переоборудование шахты Конрад в национальное хранилище НСАО. Хранилище будет располагаться на глубине 1000-1100 м ниже поверхности земли, и предполагается, что оно начнет функционировать в 2019 году. В феврале 2011 года была завершена закладка центральной части хранилища. Федеральная служба радиационной защиты, лицензиат хранилища в Морслебене, подала заявку на получение лицензии на его закрытие.

56. Открытая компания с ограниченной ответственностью по обращению с радиоактивными отходами («ПУРАМ») в Венгрии завершает сооружение подповерхностного (около 200 м) хранилища в Батапати для НСАО с АЭС. Уже функционирует зона хранения в наземной части хранилища, а на 2012 год запланирован ввод в эксплуатацию зоны захоронения. Предполагается, что в 2012 году будет завершено сооружение аналогичного комплекса для захоронения в Кёнджу, Республика Корея. Зона хранения установки функционирует с декабря 2010 года.

57. В Литве Государственная инспекция по безопасности ядерной энергетики (ВАТЕСИ) выдала лицензию Игналинской АЭС на строительство установок по извлечению и предварительной обработке твердых радиоактивных отходов.

58. В России в 2003 году началось строительство нового сухого хранилища отработавшего ядерного топлива на горно-химическом комбинате (ГХК) в Железногорске, Красноярский край. Строительство первой очереди этой установки, рассчитанной на хранение 8100 т отработавшего топлива РБМК, было завершено в декабре 2011 года.

59. 16 марта 2011 года Шведская компания по обращению с ядерным топливом и отходами («СКБ») подала в компетентные органы страны заявку на получение лицензии на строительство пункта окончательного захоронения ОЯТ в Форсмарке в муниципалитете Эстхаммар и завода по герметизации в Оскарсхамне. По оценке «СКБ», они могли бы быть введены в эксплуатацию к 2025 году.

60. В ноябре 2011 года новый пункт захоронения радиоактивных отходов был открыт в районе округа Андрус, Техас, в США. Его эксплуатацией занимается компания "Уэйст контроул специалисте"; выдана лицензия на размещение в неглубоком котловане НАО класса А, В и С.

61. Кроме того, в США в июле 2011 года Комиссия независимых экспертов по ядерному будущему Америки, созданная в январе 2010 года, выпустила проект рекомендаций в отношении разработки долгосрочного решения по обращению с отработавшим ядерным топливом и ядерными отходами США<sup>14</sup>. Заключительный доклад был выпущен в январе 2012 года.

62. Совет Европейского союза (ЕС) утвердил 19 июля 2011 года директиву Совета (2001/70/EURATOM) по ответственному и безопасному обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, в рамках которой принят ряд согласованных норм для стран – членов ЕС, основанных на нормах МАГАТЭ по обращению с отходами и их захоронению. В директиве предусмотрено требование к государствам – членам ЕС разрабатывать и осуществлять национальные программы, в том числе, в частности, концепции или планы и технические решения в отношении обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами с момента их образования до захоронения. Государства-члены должны уведомить о своих национальных программах Европейскую комиссию (ЕС) и представить ЕС доклад об осуществлении директивы не позднее 23 августа 2015 года, а затем представлять доклады раз в три года.

63. Безопасное и надежное обращение с высокоактивными источниками по-прежнему сопряжено с особыми проблемами, поскольку значительные ограничения, главным образом финансового порядка, осложняют возврат источников в страну происхождения в конце срока их службы. Был осуществлен ряд успешных операций по кондиционированию и удалению

---

<sup>14</sup> С более подробной информацией можно ознакомиться на сайте <http://brc.gov/>.

изъятых из употребления закрытых радиоактивных источников (ИЗРИ) из помещений пользователей и постановке их под контроль либо путем перемещения их в национальное хранилище радиоактивных отходов, либо в некоторых случаях путем их полного удаления из страны. В Сингапуре с сентября 2011 года больше нет изъятых из употребления высокоактивных источников, к этому времени последний изъятый из употребления высокоактивный закрытый радиоактивный источник был удален для рециклирования. Аналогичные меры были приняты на Мадагаскаре – в октябре 2011 года источник дистанционного облучения французского происхождения был возвращен во Францию.

### ***Радиоактивные отходы прежней деятельности***

64. Ведется значительная работа по ликвидации ядерного наследия холодной войны. Уже 15 лет Контактная экспертная группа Агентства по международным проектам в области обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации (КЭГ) выступает в роли эффективного форума для обмена информацией и координации программ по ядерному наследию в Российской Федерации. К концу 2011 года Российская Федерация при значительной помощи партнеров по КЭГ выгрузила топливо со 196 из 200 снятых с эксплуатации ядерных подводных лодок и демонтировала их. Реакторные блоки подводных лодок с выгруженным топливом проходят процесс герметизации и помещения в хранилище для долгосрочного хранения. Приоритетная задача КЭГ в настоящее время – безопасное удаление отработавшего ядерного топлива и отходов с бывших военно-морских баз. Ведется работа по созданию двух региональных центров кондиционирования и хранения радиоактивных отходов. Успешно осуществляется также международная программа утилизации мощных радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГов), которые использовались для целей навигации (например, в качестве источников питания для маяков) вдоль побережья Российской Федерации. Большинство из 1007 РИТЭГов страны было утилизировано, при этом остается утилизировать только 119.

65. Крупномасштабные программы обработки отходов прежней деятельности осуществляются Канадой (Чок-Риверской ядерной лабораторией), Российской Федерацией (ПО «Маяк» и Сибирским химическим комбинатом) и США (Саванна-Риверской национальной лабораторией). В Ханфорде, США, завершена почти половина работ по строительству крупнейшего в мире завода по обработке отходов (ЗОО). Бюджет завода составляет 12 млрд. долл., и предполагается, что он будет введен в эксплуатацию в 2019 году. На нем будет обрабатываться и стабилизироваться около 200 000 м<sup>3</sup> самых разных сложных отходов прежней деятельности посредством предварительной обработки и последующего остекловывания.

### ***Радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате аварии на АЭС "Фукусима-дайити"***

66. Радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате аварии на АЭС «Фукусима», требуют принятия не только краткосрочных мер на площадке АЭС после аварии, но и долгосрочных мер по управлению жизненным циклом всех отходов как на площадке, так и за ее пределами.

67. В ответ на просьбу, с которой обратилось правительство Японии, Агентство организовало 7-15 октября 2011 года миссию по установлению фактов для поддержки восстановительных мероприятий на обширной загрязненной территории за пределами площадки АЭС «Фукусима-дайити». Перед миссией стояла задача оказать помощь в реализации планов Японии по восстановлению обширной территории, загрязненной в результате аварии, проанализировать стратегии, планы и деятельность Японии по восстановлению, включая картирование загрязнения, и провести обмен своими выводами с международным сообществом в рамках усилий по широкому распространению уроков, извлеченных из аварии. В отчете о миссии, опубликованном в ноябре 2011 года, сообщается о девяти областях, где был достигнут

существенный прогресс, и предлагаются рекомендации по двенадцати областям, где, по мнению миссии, нынешнюю практику можно было бы усовершенствовать. Рекомендации касаются совершенствования стратегии, планов и конкретных методов осуществления восстановительных мероприятий с учетом как международных норм, так и опыта реализации программ восстановительных мероприятий в других странах.

68. Для восстановления загрязненных земель вблизи АЭС «Фукусима» потребуется построить хранилища, вмещающие примерно 15-28 млн. м<sup>3</sup> отходов. Для хранилищ потребуется территория площадью 3-5 км<sup>2</sup>, и они должны быть сооружены в течение трех лет. Со временем необходимо будет рассмотреть варианты окончательного захоронения этих отходов.

69. В результате накопления в подвальных помещениях реакторов, турбинных залах и котлованах больших объемов воды, загрязненной цезием-134 и цезием-137, создалась критическая ситуация, грозящая ее переливом или утечкой в окружающую среду. Помимо больших объемов при очистке такой загрязненной воды возникает серьезная проблема, связанная с присутствием в ней нефти и высоких концентраций ионов натрия из морской воды. Существующие очистные сооружения повреждены, и ими нельзя пользоваться. Ситуация была взята под контроль в результате оперативной мобилизации местной и международной помощи и создания эффективных очистительных систем с высокой пропускной способностью, на которых было очищено более 150 000 м<sup>3</sup> сточных вод. На передвижных грузовых платформах были смонтированы установки, использующие различные технологии, включая флокуляционно-осаждение, ионный обмен с помощью цеолитов, обратный осмос и выпаривание. Дезактивированная и опресненная вода была успешно рециклирована для охлаждения поврежденной активной зоны реакторов. Вода в бассейнах выдержки отработавшего топлива, находящихся в реакторах, также очищается с помощью мобильных систем меньшей производительности. Будущие задачи в этой области связаны с обращением с высокорadioактивным осадком, образовавшимся в результате химической очистки, и отработавшими цеолитными колоннами.

70. Для выгрузки топлива с поврежденных реакторов потребуется разработать специальные приспособления, погрузочно-разгрузочное оборудование и решения для обработки специфических трансурановых отходов. Предполагается, что для разработки приспособлений и методов обращения с такими отходами потребуется определенное время и высокий экспертный потенциал.

### **Снятие с эксплуатации**

71. В 2011 году мировые статистические данные о снятии с эксплуатации энергетических реакторов изменились незначительно. По состоянию на декабрь 2011 года были остановлены 124 энергетических реактора. В 2011 году был завершен демонтаж одного реактора – усовершенствованного газоохлаждаемого реактора (AGR) «Уиндскейл» в Соединенном Королевстве, в результате чего число остановленных и полностью демонтированных энергетических реакторов достигло 16. 50 энергетических реакторов находилось в процессе демонтажа, 49 – в режиме безопасной консервации, 3 – под укрытием, а для 6 стратегия снятия с эксплуатации определена еще не была.

72. Демонтаж AGR «Уиндскейл», экспериментальной атомной станции, построенной в 60-х годах прошлого века, был завершен в 2011 году после 12 лет сложной работы. Данный проект будет использован при разработке планов снятия с эксплуатации 14 других AGR в Соединенном Королевстве по мере окончания срока их службы.

73. Шведская компания «Студсвик» подписала в конце 2011 года контракт с британским хранилищем НАО «ЛЛУ репозитори лтд» (ЛЛУР) на перевозку пяти старых теплообменников, каждый весом свыше 300 тонн, из снятой с эксплуатации АЭС «Беркли Магнокс» в Швецию и их демонтаж, в ходе которого до 90% содержащегося в них металла будет рециклировано.

74. Затраты в США на демонтаж и снятие с эксплуатации ядерных установок составили, по оценкам, 69,3 млрд. долл. Объем средств, выделяемых в США на снятие с эксплуатации, оказался достаточным. Переход в 2010 году прав собственности на АЭС «Зайон» от компании «Экселон корпорейшн» к компании «Энерджи солушнз» показал, что средств, выделенных по закону на оплату будущей деятельности по снятию с эксплуатации, достаточно для ее фактического осуществления.

#### **А.4. Безопасность<sup>15</sup>**

75. В 2011 году в центре обсуждения вопросов безопасности АЭС была необходимость определить и применить на практике уроки, которые можно извлечь из аварии на АЭС «Фукусима-дайити», вызванной чрезвычайными стихийными бедствиями – землетрясением и цунами, произошедшими в Японии 11 марта 2011 года.

76. В июне 2011 года Агентство созвало Конференцию по ядерной безопасности на уровне министров для того, чтобы обсудить первоначальную оценку аварии на АЭС "Фукусима", рассмотреть уроки, которые необходимо извлечь, содействовать началу процесса повышения ядерной безопасности во всем мире, а также рассмотреть пути дальнейшего укрепления системы реагирования в случае ядерных аварий и аварийных ситуаций. Многие государства-члены провели в 2011 году мероприятия по контролю сложившейся ситуации в рамках национальной оценки безопасности (часто называемые «стресс-тестами»), и были приняты обязательства в срочном порядке завершить любые оставшиеся оценки и принять необходимые меры по устранению недостатков.

77. Предварительный анализ аварии свидетельствует о том, что операторы АЭС во всем мире должны по мере необходимости критически рассматривать и совершенствовать: а) меры защиты от экстремальных явлений, таких как цунами; б) способность систем электроснабжения и охлаждения функционировать в случае тяжелых аварий; с) меры по подготовке к управлению тяжелыми авариями; д) основы обеспечения безопасности станций при проектировании, т.е. допущения в отношении заранее предполагаемой совокупности аварий, которые следует учитывать.

78. Хотя не все уроки еще извлечены, на национальном и международном уровне уже разработаны планы действий по практическому применению предварительных уроков аварии. В Плане действий МАГАТЭ по ядерной безопасности определена программа работы по укреплению глобальной системы ядерной безопасности. Он был принят на Генеральной конференции в сентябре 2011 года, и в нем определяются 12 основных действий<sup>16</sup>.

79. Впоследствии могут быть извлечены дальнейшие уроки, которые в надлежащих случаях будут учтены в данных действиях при обновлении Плана действий. В декабре 2011 года правительство Японии объявило, что реакторы на АЭС «Фукусима-дайити» переведены в «состояние холодного останова», что ситуация на них стабильная и что выброс радиоактивных материалов находится под контролем.

---

<sup>15</sup> С дополнительной информацией о ядерной безопасности можно ознакомиться в Обзоре ядерной безопасности – 2012 или в Ежегодном докладе МАГАТЭ.

<sup>16</sup> С текстом Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности можно ознакомиться здесь: [http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/GC55Documents/Russian/gc55-14\\_rus.pdf](http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/GC55Documents/Russian/gc55-14_rus.pdf).

80. С точки зрения эксплуатации уровень безопасности АЭС во всем мире по-прежнему высокий, о чем свидетельствуют индикаторы безопасности, информацию о которых собирают МАГАТЭ и Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (ВАО АЭС). На рис. А-4 показано общее число незапланированных аварийных остановов, как в автоматическом, так и в ручном режиме, на каждые 7000 часов работы энергетических реакторов в критическом состоянии, информация о которых собрана Агентством в базе данных Информационной системы по энергетическим реакторам (ПРИС)<sup>17</sup>. Этот индикатор дает представление о динамике сокращения числа незапланированных совокупных остановов реакторов и обычно используется как показатель успешной деятельности по повышению безопасности станций. Согласно рис. А-4 в последние годы отмечается неуклонное улучшение ситуации, хотя и не столь значительное, как в 90-е годы прошлого века. Вместе с тем сохраняется серьезный разрыв между теми, кто придерживается самых строгих норм ядерной безопасности, и теми, кто ими в значительной степени пренебрегает, и существуют возможности для дальнейшего улучшения ситуации. С более подробной информацией, связанной с безопасностью и касающейся сквозных ядерных вопросов и последних событий в области безопасности, которые произошли в течение 2011 года и выходят за рамки аварии на АЭС «Фукусима-дайити», можно ознакомиться в Обзоре ядерной безопасности – 2012.

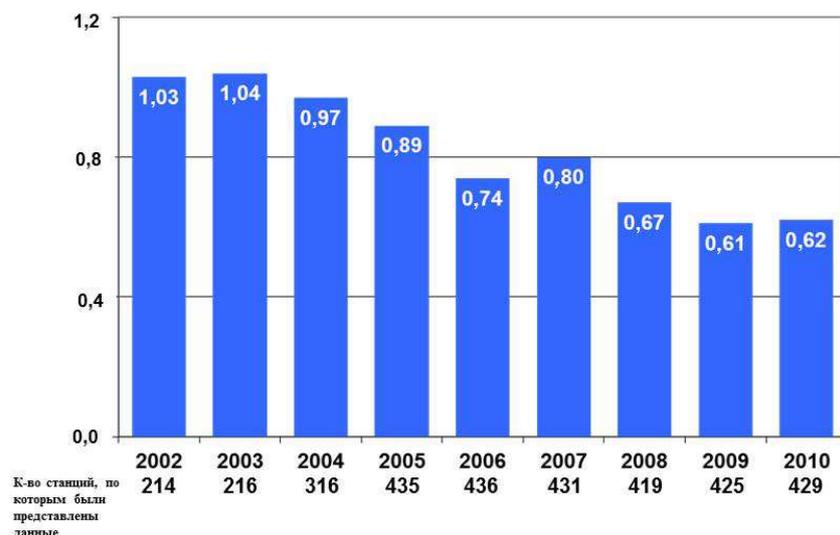


РИС. А-4. Общее число незапланированных аварийных остановов, как в автоматическом, так и в ручном режиме, на каждые 7000 часов работы энергетических реакторов в критическом состоянии (источник: МАГАТЭ).

## В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

81. Опыт эксплуатации существующих реакторов, а также прогресс в области ядерной науки и техники являются факторами, лежащими в основе разработки новых усовершенствованных конструкций реакторов. В этом разделе приводится краткое описание таких изменений в конструкции реакторов – во-первых, на основе ядерных систем, и во-вторых, на основе термоядерных систем.

<sup>17</sup> <http://prisweb.iaea.org>

## **В.1. Усовершенствованные ядерные системы**

### **В.1.1. Водоохлаждаемые реакторы**

82. В Канаде Комиссия по ядерной безопасности Канады (КЯБК) продолжает предпроектное рассмотрение конструкции усовершенствованного реактора CANDU-6 мощностью 700 МВт (эл.), которая включает ряд инноваций, заимствованных из конструкции CANDU-9, а также учитывает недавний опыт разработки энергоблоков CANDU-6, построенных в Китае и Республике Корея. Компания "Канду энерджи" также продолжает разрабатывать усовершенствованный реактор CANDU (ACR-1000), в котором в качестве мер по компенсации использования легкой воды в качестве теплоносителя первого контура используется высокая степень стандартизации элементов и применяется низкообогащенный уран. В январе 2011 года КЯБК завершила все три этапа предпроектного рассмотрения конструкции ACR-1000, в результате чего он стал первым усовершенствованным ядерным энергетическим реактором, который прошел такое рассмотрение в КЯБК. Компания «Атомик энерджи оф Кэнада лимитед» (АЭКЛ) ведет активные разработки по сверхкритическому водоохлаждаемому реактору CANDU (SCWR), которые повысят ведущую роль Канады в осуществлении программы SCWR в рамках Международного форума «Поколение IV» (МФИ).

83. В Китае строится 27 реакторов с водой под давлением (PWR). Они включают эволюционные PWR мощностью 650 МВт (эл.) и 1080 МВт (эл.), основанные на существующей технологии эксплуатации станций, а также более новые проекты AP-1000 и европейского реактора с водой под давлением (EPR). Новый реактор «Линао-4» конструкции CPR 1000 был подключен к энергосети 3 мая 2011 года. Китай продолжает разрабатывать конструкции реакторов CAP-1400 и CAP-1700, которые представляют собой более масштабные варианты проекта AP-1000. В то же время Китай продолжает инвестировать в исследования по проекту китайского SCWR.

84. Во Франции компания «Арева» продолжает поставлять на рынок реактор EPR мощностью 1600+ МВт (эл.) и разрабатывать совместно с «Мицубиси хэви индастриз», Япония, реактор PWR ATMEA мощностью 1100+ МВт (эл.), а в партнерстве с германской фирмой «Е.ОН» – реактор с кипящей водой (BWR) KERENA мощностью 1250+ МВт (эл.)

85. В Индии строится пять реакторов, включая три эволюционных корпусных тяжеловодных реактора (PHWR) мощностью 700 МВт (эл.) и два водо-водяных энергетических реактора (ВВЭР) мощностью 1000 МВт (эл.) Ядерно-энергетическая корпорация Индии (NPCIL) разработала эволюционный реактор 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 и тяжеловодный замедлитель, кипящий легководный теплоноситель в вертикальных напорных каналах и пассивные системы безопасности.

86. В Японии строятся два усовершенствованных кипящих реактора (ABWR) «Ома» и «Симане-3», а также в стадии планирования находится еще несколько ABWR. Компания "Хитати" продолжает разработку вариантов реактора ABWR мощностью 600, 900 и 1700 МВт (эл.), а также реактора ABWR-II мощностью 1700 МВт (эл.). Вариант усовершенствованного реактора с водой под давлением (APWR) мощностью 1700 МВт (эл.) компании "Мицубиси хэви индастриз", разработанный для рынка США, – US-APWR, в настоящее время находится в процессе сертификации конструкции в Комиссии по ядерному регулированию США. Европейский вариант реактора APWR, EU-APWR, также находится в стадии разработки и будет оценен с точки зрения его соответствия Требованиям, предъявляемым к европейским энергопредприятиям. Кроме того, Япония продолжает разработку инновационного проекта SCWR.

87. Строительство первого усовершенствованного энергетического реактора APR-1400 в Республике Корея продолжается в соответствии с планом. Продолжается разработка европейского варианта реактора APR-1400, имеющего обозначение EU-APR-1400, который будет оценен с точки зрения его соответствия требованиям, предъявляемым к европейским энергопредприятиям. Начат процесс сертификации конструкции предназначенного для США варианта US-APR-1400 в Комиссии по ядерному регулированию США; при этом ставится цель прохождения окончательной сертификации в 2015 году. Параллельно с этим, в 2011 году продолжалась разработка реакторов APR+ и APR-1000 мощностью 1500 МВт (эл.).

88. В США в декабре 2011 года КЯР внесла поправку в сертификацию конструкции реактора AP-1000 компании «Венстингауз», внося в нее усовершенствования и улучшения.

89. В Российской Федерации продолжалось строительство восьми реакторов ВВЭР, включая ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Продолжалось также осуществление планов разработки реактора ВВЭР-1200А, а также ВВЭР-600 и ВВЭР-1800 на основе нынешнего проекта ВВЭР-1200. Кроме того, Российская Федерация продолжала работы по проекту инновационного реактора SCWR – ВВЭР-СК – и продолжает строительство плавучего реактора малой мощности типа КЛТ-40С для специальных применений.

### **В.1.2. Системы на быстрых нейтронах**

90. Реакторы на быстрых нейтронах в течение многих лет разрабатывались в нескольких странах, в первую очередь в качестве реакторов-размножителей. Воспроизводство плутония вместе с переработкой и рециклированием топлива позволяет быстрым реакторам извлекать в 60-70 раз больше энергии из урана, чем это делают тепловые реакторы, а это позволит в долгосрочном плане очень существенно наращивать ядерно-энергетические мощности. Быстрые реакторы могут также внести вклад в сокращение запасов плутония и времени, необходимого для изоляции радиоактивных отходов высокого уровня активности, благодаря использованию радиоизотопов трансурановых элементов и трансмутации некоторых долгоживущих продуктов деления.

91. В Китае 21 июля 2011 года был подключен к энергосети китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) бассейнового типа мощностью 65 МВт (тепл.) (20 МВт (эл.)), который впервые достиг критичности 21 июля 2010 года. Осуществляется начальная программа исследования физических свойств CEFR.

92. В Калпаккаме, Индия, полным ходом ведется строительство реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) мощностью 500 МВт (эл.): были смонтированы внешний, внутренний корпуса и корпус безопасности, а также закончено сооружение реакторного здания. Ввод в эксплуатацию запланирован на начало 2013 года.

93. В рамках проекта по разработке технологии цикла реакторов на быстрых нейтронах (проект ФаКТ) Япония разрабатывает собственный быстрый реактор с натриевым теплоносителем (JSFR) мощностью 1500 МВт (эл.). После события на АЭС «Фукусима-дайти» в марте 2011 года Япония переоценивает возможность продолжения этой программы, и после того, как правительство достигнет консенсуса по пересмотренной политике в области ядерной энергии, ожидается принятие решения по продолжению этого проекта.

94. Республика Корея осуществляет широкую программу НИОКР по обеспечению содействия в работах по созданию быстрого реактора с натриевым теплоносителем (SFR) мощностью 600 МВт (эл.) под названием «Калимер».

95. В Российской Федерации, которая эксплуатирует в Белоярске самый мощный в настоящее время коммерческий реактор на быстрых нейтронах (БН-600), продолжается строительство реактора на быстрых нейтронах БН-800. Предполагается, что строительство будет завершено в 2014 году, и в том же году начнется ввод в эксплуатацию. Кроме того, Российская Федерация начала в 2010 году осуществлять Федеральную целевую программу «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года», направленную на разработку усовершенствованного реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-1200), двух инновационных быстрых реакторов с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (энергоблок с быстрым реактором со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 и реакторная установка на быстрых нейтронах с теплоносителем на базе эвтектического свинцово-висмутового сплава (СВС) СВБР-100), а также связанных с ними топливных циклов и нового многоцелевого исследовательского реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем МБИР.

96. Недавно в Европе, Республике Корея, Российской Федерации и Японии было начато осуществление различных промышленных программ, цель которых – ввести в эксплуатацию к 2025-2030 годам новые демонстрационные и прототипные установки на быстрых реакторах.

97. Для удовлетворения долгосрочных потребностей Европы в энергии, в том числе в отношении надежности поставок, безопасности, устойчивости и экономической конкурентоспособности, ЕС в рамках своего Стратегического плана по энергетическим технологиям (СЭТ-План) определил в ноябре 2010 года свою стратегию развития технологии реакторов на быстрых нейтронах. Эта стратегия предусматривает разработку реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (SFR) в качестве первого направления на основе опыта, ранее накопленного в Европе в связи с этой конструкцией, и двух альтернативных технологий реакторов на быстрых нейтронах, изучение которых планируется проводить на более позднем этапе, т.е. реакторов на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (LFR) и реакторов на быстрых нейтронах с газовым теплоносителем (GFR). В соответствующей демонстрационной программе и программе осуществления, именуемой Европейской промышленной инициативой по развитию ядерной энергетики с устойчивой ресурсной базой (ESNII), предусмотрено строительство во Франции прототипа SFR под названием ASTRID и двух демонстрационных установок ALFRED и ALLEGRO для альтернативных технологий LFR и GFR, соответственно. Эта программа охватывает также строительство в Бельгии многоцелевой подкритичной облучательной установки на быстрых нейтронах MYRRHA, которая служит также пилотной установкой для прототипной установки на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем «Альфред». Для тестирования мониторинга подкритичности был построен макет MYRRHA с нулевой мощностью – это установка GUINEVERE, которая эксплуатируется в лабораториях Бельгийского центра ядерных исследований (SCK•CEN) в Моле.

### **В.1.3. Газоохлаждаемые реакторы**

98. В Китае в феврале 2008 года Государственный совет одобрил план строительства демонстрационного высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (HTGR). В настоящее время идет рассмотрение вопроса о выдаче лицензии на этот проект.

99. В Японии было завершено тестирование по ужесточенной методике высокотемпературного реактора для технических испытаний (HTTR), которое в общей сложности длилось 90 дней, причем 50 дней из них – при температуре 950°C. Правительство Японии рассматривает возможность сопряжения реактора HTTR с системой получения водорода для маломасштабного производства водорода.

100. Республика Корея продолжает инвестировать средства в создание испытательных стендов для проведения инженерно-технических испытаний систем и компонентов высокотемпературных реакторов (HTR), сопряженных с установкой для получения водорода. Планируется также использование технологического тепла, при этом ряд потребителей промышленного тепла сотрудничает с ядерным научным сообществом с целью нахождения оптимальных методов производства тепла и водорода с помощью HTR. Выбор реакторной концепции планируется сделать к 2015 году. Решительную поддержку со стороны как промышленности, так и правительства получает проект по развитию и демонстрации производства водорода с применением ядерной энергии (NHDD).

101. В Южной Африке планы перевода проекта по созданию модульного реактора с шаровыми твэлами (PBMR) в фазу строительства были в 2010 году остановлены по причине, в частности, финансовых трудностей, возникших в связи с мировым финансовым кризисом. Этот проект по-прежнему сохраняется в законсервированном «состоянии» в целях защиты интеллектуальной собственности и вложенных средств до принятия правительством решения относительно дальнейших действий.

102. В США на усовершенствованном испытательном реакторе (ATR) в Национальной лаборатории шт. Айдахо (INL) продолжались экспериментальные испытания безопасности трехструктурно-изотропического топлива (TRISO-топлива), измерения в рамках которых проводятся по интенсивности отказов топлива в течение длительных периодов облучения. Цель этих экспериментов заключается в получении данных о поведении топлива при облучении для разработки процессов, связанных с топливом, в аттестации топлива для нормальных, переходных и аварийных режимов эксплуатации, разработке и валидации компьютерных программ для моделирования поведения топлива PARFUME и выхода продуктов деления, а также в проведении послереакторных исследований (ПРИ) с облученным TRISO-топливом и его испытаний на безопасность при нагреве. В настоящее время продолжаются ПРИ и испытания на безопасность при нагреве с использованием TRISO-топлива и компактных образцов первого экспериментального топливного элемента (AGR-1). Второй экспериментальный топливный элемент (AGR-2) был введен в ATR в июне 2010 года, и эксперимент продолжается. Третий и четвертый элементы (AGR-3/4) были объединены в один цикл экспериментов, предполагающий использование заведомо поврежденных частиц TRISO-топлива, которые дадут информацию о выходе продуктов деления для валидации моделей, а также информацию о поведении TRISO-топлива при облучении во время работы на более высоких температурах. AGR-3/4 был введен в ATR Айдахской национальной лаборатории в декабре 2011 года и облучается на протяжении двух лет. На ATR Айдахской лаборатории продолжают эксперименты по изучению радиационной ползучести графита, которые дадут информацию о характеристиках нескольких типов ядерно-чистого графита. Второй экспериментальный графитовый элемент, AGC-2, для изучения явления ползучести был введен в ATR в феврале 2011 года, и его облучение продолжается в настоящее время. Завершено рассмотрение конструкции AGC-3, и процесс его изготовления будет завершен в 2012 году. Средства, выделенные на проект АЭС следующего поколения (NGNP), предназначены для продолжения работы по облучению TRISO-топлива и графита, а также для формирования партнерства между государством и частным сектором в области проектирования, лицензирования и строительства демонстрационного реактора NGNP.

#### **В.1.4. Реакторы малой и средней мощности (PMCM)<sup>18</sup>**

103. Согласно принятой Агентством классификации, реакторами малой мощности являются реакторы с эквивалентной электрической мощностью менее 300 МВт (эл.), а реакторы средней мощности – это реакторы, имеющие эквивалентную электрическую мощность в диапазоне от 300 до 700 МВт (эл.). PMCM могут представлять собой привлекательный и доступный вариант развития ядерной энергетики для многих развивающихся стран с небольшими энергосетями, недостаточной инфраструктурой, ограниченными инвестиционными возможностями или в случаях, когда требуется гибкое производство электроэнергии. PMCM представляют также особый интерес с точки зрения когенерации и многих будущих передовых применений технологического тепла.

104. В настоящее время в шести странах – Аргентине, Индии, Китае, Пакистане, Российской Федерации и Словакии – в процессе сооружения находятся в общей сложности 13 PMCM. Реакторы малой и средней мощности разрабатываются для всех основных линий реакторов, включая легководные реакторы (LWR), тяжеловодные реакторы (HWR), газоохлаждаемые реакторы (GCR) и быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем (LMFR).

105. В Аргентине сооружение реактора CAREM – легководного реактора с водой под давлением интегрального типа малой мощности – с электрической мощностью 150-300 МВт (эл.), в котором все элементы первого контура находятся внутри корпуса реактора, началось в сентябре 2011 года с производства экскавационных работ на площадке для прототипной установки с реактором CAREM мощностью 27 МВт (эл.).

106. В Бразилии была разработана концепция проекта строительства ядерного реактора с фиксируемой засыпной активной зоной мощностью 70 МВт (эл.) без перегрузки топлива на площадке.

107. Канада занимается разработкой и внедрением во всемирных масштабах серии реакторов CANDU, предлагая при этом различные номинальные мощности. Усовершенствованный реактор CANDU-6 является новым вариантом, в котором сохранены основные характеристики конструкции CANDU-6 и который имеет общую электрическую мощность 740 МВт (эл.).

108. Китай разрабатывает PWR мощностью 300 МВт (эл.) и 600 МВт (эл.). Несколько энергоблоков уже построены, а два энергоблока CNP-600 на 2011 год находились в стадии строительства. Пакистан также построил два энергоблока CNP-300, импортированных из Китая. Кроме того, в ноябре 2011 года Национальная ядерная корпорация Китая (НЯКК) подписала соглашение с муниципальными органами Чжанчжоу на строительство двух модульных ядерных энергетических реакторов малой мощности.

109. Во Франции в течение последних двух лет велась разработка прибрежной АЭС малой мощности "Flexblue", которая будет размещена на морском дне и подсоединена к энергосистемам на берегу и мощность которой составит порядка 150 МВт (эл.).

110. В Индии эксплуатируются или строятся 21 HWR мощностью 220 МВт (эл.), 540 МВт (эл.) и 700 МВт (эл.). На стадии базового проектирования находится усовершенствованный тяжеловодный реактор (AHWR) мощностью 304 МВт (эл.), в котором будут использоваться НОУ и ториевое смешанное оксидное (MOX) топливо и предусмотрены вертикальные напорные каналы и пассивные средства безопасности.

---

<sup>18</sup> Брошюра под названием *Status of Small and Medium Sized Reactor Designs* («Положение дел с проектами реакторов малой и средней мощности») была опубликована Агентством и может быть загружена на веб-сайте <http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Technology/files/SMR-booklet.pdf>. Она предназначена для дополнения Информационной системы по усовершенствованным реакторам (АРИС) Агентства, которая доступна на сайте <http://aris.iaea.org>.

111. Япония разрабатывает супербезопасный и простой реактор (4S) малой мощности – быстрый реактор малой мощности с натриевым теплоносителем, который будет способен генерировать 10-50 МВт (эл.) и может быть размещен в закрытой цилиндрической камере под землей, при этом здание будет размещаться на поверхности.

112. Республика Корея разработала конструкцию системно-интегрированного модульного усовершенствованного реактора (SMART) с тепловой мощностью 330 МВт (тепл.). Он предназначен для опреснения морской воды. Было начато осуществление проекта по проектированию пилотной установки для всеобъемлющей проверки показателей работы. Ожидается, что в первом квартале 2012 года до строительства прототипной установки будет получено окончательное утверждение стандартной конструкции SMART мощностью 100 МВт (эл.).

113. В Пакистане в эксплуатации находятся три РМСМ, а именно энергоблоки KANUPP-1, CHASNUPP-1 и CHASNUPP-2. В стадии строительства находятся два реактора CNP-300, импортированных из Китая для энергоблоков CHASNUPP-3 и 4.

114. В Российской Федерации ведется разработка шести конструкций легководных РМСМ. Два энергоблока серии КЛТ-40С находятся в стадии строительства и будут устанавливаться на барже и использоваться для комбинированного производства технологического тепла и электрической энергии. В Российской Федерации также разрабатывается СВБР-100 – компактный быстрый реактор мощностью 100 МВт (эл.) с использованием в качестве теплоносителя эвтектического сплава свинца и висмута.

115. В Словакии в стадии сооружения находятся два реактора ВВЭР-440 на основе российской технологии, которые предназначены для энергоблоков 3 и 4 АЭС «Моховице». Начало эксплуатации этих блоков ожидается в 2012 году и 2013 году, соответственно.

116. В США ведется разработка четырех легководных PWR интегрального типа: mPower, NuScale, модульного реактора Holtec с естественной безопасностью (HISMUR) и РМСМ компании «Вестингауз». Проект mPower – это вдвоенная установка, состоящая из двух модулей мощностью по 185 МВт (эл.), к которым при необходимости могут быть добавлены два дополнительных модуля. Проект NuScale Power – это АЭС, которая может предусматривать размещение на площадке станции до двенадцати самостоятельных модулей по 45 МВт (эл.) и функционирует в условиях естественной циркуляции в обычном и послеаварийном режимах. РМСМ компании «Вестингауз» – это концептуальный проект реактора мощностью 225 МВт (эл.), в котором предусмотрены пассивные системы безопасности и использованы некоторые концепции пассивной безопасности и конструкционные элементы легководного реактора AP-1000 большой мощности. HISMUR – это конструкция мощностью 145 МВт (эл.), в которой, как и в модулях NuScale, не требуются насосы для циркуляции теплоносителя. Ожидается, что в 2013-2015 годах эти четыре концептуальных проекта будут представлены Комиссии по ядерному регулированию США на предмет сертификации. В настоящее время под руководством международного консорциума ведутся работы в рамках проекта создания международного инновационного и безопасного реактора (ИРИС) с целью разработки интегральной конструкции PWR с электрической мощностью 335 МВт (эл.). Разработан инновационный энергетический маломодульный реактор (PRISM) – быстрый реактор с жидкометаллическим теплоносителем мощностью 311 МВт (эл.), и на данном этапе рассматривается заявка на сертификацию конструкции, поданная в Комиссию по ядерному регулированию США.

117. В категории РМСМ разрабатывается несколько конструкций ГОР. Китай построил реактор HTR-10 – экспериментальный реактор HTR с гелиевым теплоносителем и шаровыми твэлами. В рамках последующей работы по созданию установок в марте 2011 года китайское правительство одобрило строительство модульной установки с шаровыми твэлами и с

высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (HTR-PM), состоящей из двух модулей мощностью по 250 МВт (тепл.). В США осуществляется концептуальный проект создания газотурбинного модульного гелиевого реактора (GT-MHR) мощностью 150 МВт (эл), способного производить водород на основе высокотемпературного электролиза или термохимического расщепления воды. Наконец, проект реактора – энергоумножительного модуля (EM<sup>2</sup>) является попыткой использовать отработавшее ядерное топливо без традиционной переработки.

### В.1.5. ИНПРО и МФП

118. Международный проект МАГАТЭ по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО), в рамках которого государствам-членам оказывается поддержка в разработке и развертывании устойчивых ядерно-энергетических систем, принял в свои ряды в 2011 году трех новых участников – Египет, Израиль и Иорданию, в результате чего общее число его членов увеличилось до 35. В документе «INPRO Development Vision 2012-2017» («Перспективы развития ИНПРО на период 2012-2017 годов»), разработанном в 2011 году, определена стратегическая задача продвижения к глобальной устойчивости ядерно-энергетических систем путем моделирования и анализа сценариев перехода; содействия необходимым техническим и институциональным инновациям и поддержки государств-членов в разработке национальных долгосрочных ядерно-энергетических стратегий<sup>19</sup>.



РИС. В-1. Глобальная устойчивость ядерной энергетики и вклад ИНПРО

119. В 2011 году по линии Форума для диалога в рамках ИНПРО по ядерно-энергетическим инновациям был начат новый проект по определению «обобщенных соображений потребителей», в частности, в отношении пользователей технологий реакторов малой и средней мощности (PMCM). Кроме того, в 2011 году проводились четыре оценки ядерно-энергетических систем (ОЯЭС) – в Беларуси, Индонезии, Казахстане и Украине, соответственно, – а разработанный Агентством пакет вспомогательных материалов ОЯЭС для помощи странам в проведении самооценки был расширен за счет включения примеров вводимых данных и программного обеспечения по ОЯЭС. В 2011 году был завершен совместный проект ИНПРО "Глобальная архитектура инновационных ядерных систем на основе тепловых и быстрых реакторов, включая замкнутые топливные циклы" (GAINS). В его рамках определялись и количественно анализировались преимущества перехода на глобально

<sup>19</sup> Эта публикация имеется на веб-сайте [http://www.iaea.org/INPRO/files/INPRO\\_Development\\_Vision\\_\(Final\).pdf](http://www.iaea.org/INPRO/files/INPRO_Development_Vision_(Final).pdf).

устойчивые ядерно-энергетические системы на основе быстрых реакторов и замкнутых топливных циклов. В 2011 году был начат последующий проект "Оценка устойчивости синергического взаимодействия региональных групп в области ядерной энергии" (SYNERGIES), цель которого заключается в подробном количественном анализе пользы сотрудничества и синергизма между странами, осуществляющими этот процесс перехода.

120. 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 (LFR), реакторов на солевых расплавах (MSR), 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. В конструкции предусматривается использование спектров тепловых и быстрых нейтронов, замкнутого и открытого топливных циклов, а также широкий диапазон мощностей реакторов – от весьма малой до очень большой. В зависимости от соответствующей степени технической зрелости эти системы, как ожидается, станут доступными для коммерческого внедрения в период между 2020 и 2030 годами или позднее. В настоящее время МФП насчитывает 13 членов<sup>20</sup>.

121. Агентство и МФП сотрудничают в области 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 РМСМ, использование тория и последствия для топливного цикла. В 2011 году, на пятом совещании МФП/ИНПРО по вопросам взаимодействия, было подтверждено сотрудничество между МФП и ИНПРО, в частности, по методам оценки устойчивости с точки зрения распространения и аспектам безопасности SFR.

## **В.2. Термоядерный синтез**

122. Проект Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) является экспериментальным проектом для демонстрации научной и технологической возможности и характеристик безопасности использования термоядерной энергии в мирных целях. В этом проекте международного сотрудничества участвуют Европейский союз, Индия, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, Соединенные Штаты и Япония. ИТЭР развивается быстрыми темпами, что находит отражение как в интенсивных строительных работах на площадке, так и в растущем числе закупок различных компонентов соответствующих устройств и оборудования. Прогресс, достигнутый в строительстве площадки для ИТЭР в 2011 году, включает завершение сооружения здания для горячих камер, экскавационных работ для фундамента здания, где будет размещена установка, закладки бетонной сейсмостойкой фундаментной плиты комплекса токамак и сооружения системы катушек полоидального поля. По состоянию на конец 2011 года было подписано в общей сложности 65 из 126 договоров на закупку оборудования на общую сумму свыше 3 млрд. евро, что составляет 74% от общей суммы закупок в связи со строительством ИТЭР. Строительство основных узлов (таких как вакуумная камера) и производство важнейших узлов (таких как сверхпроводники тороидального поля) ведется в государствах, являющихся членами ИТЭР. Вместе с тем, необходимы меры для сведения к минимуму задержек в графике реализации проекта, вызванных землетрясением и цунами в Японии в марте 2011 года.

---

<sup>20</sup> Аргентина, Бразилия, Евратом, Канада, Китай, Республика Корея, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США, Франция, Швейцария, Южная Африка и Япония.

123. Наряду с ИТЭР, международные усилия были также направлены на разработку плана действий по производству электроэнергии на основе термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы (МУП). Эта деятельность сосредоточена на научно-технических вопросах, связанных с созданием демонстрационной термоядерной энергетической установки (Demo) и проведением необходимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью создания Demo. Был определен следующий ряд стратегически важных вопросов, требующих дополнительного внимания со стороны международного сообщества:

- допущения, используемые в кодах для расчета конструкций для осуществления УТС – конструкции термоядерных реакторов в большой степени зависят от физических и технологических допущений, используемых на этапе проектирования;
- разработка материалов для УТС – испытания под облучением являются необходимостью и могут определять главное направление разработки конструкционных материалов и материалов первой стенки Demo;
- разработка бланкетов – одним из требований к развитию УТС за рамками ИТЭР является воспроизводство трития, в связи с чем потребуются бридерные бланкеты для по сути любой термоядерной установки следующего поколения вне зависимости от ее назначения;
- решения проблемы выбросов плазмы – требования к выбросам тепла и частиц в термоядерных устройствах, работающих в режиме высокой нагрузки, значительно превышают требования, предъявляемые к ИТЭР;
- требования к различным вариантам установок следующего поколения – необходим план своевременного устранения пробелов в обеспечении соответствующей готовности и удовлетворения потребностей в разработках в области ключевых технологий УТС с целью соблюдения сроков создания установок.

124. Эти вопросы имеют стратегическую важность, поскольку пути их решения окажут большое влияние на реализацию общего плана действий. Пока в международном сообществе специалистов по УТС нет консенсуса на этот счет.

125. 24-я Конференция МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза (КЭТС-2012) состоится 8-13 октября 2012 года в Сан-Диего, Калифорния, США.



*РИС. В-2. Подъем сверхпроводящих корректирующих катушек для использования в ИТЭР, Институт физики плазмы, Хэфэй, Китай.*

## С. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

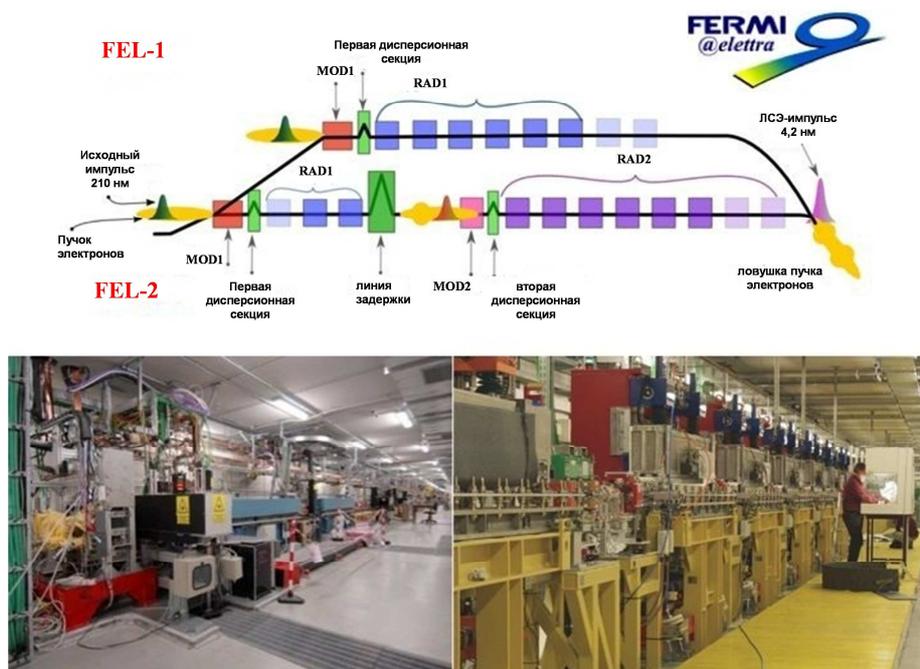
### С.1. Ускорители

126. На протяжении последних нескольких десятилетий в дополнение к исследовательским реакторам используются источники нейтронов на базе ускорителей, подобные тем, которые применяются в установках – источниках нейтронов скалывания. В настоящее время новые установки-источники, основанные на реакции скалывания, проектируются и сооружаются в Китае и в Швеции. В Китае 20 октября 2011 года состоялась церемония закладки фундамента для китайского источника нейтронов скалывания (CSNS), который будет состоять в основном из линейного ускорителя H<sup>-</sup> и протонного синхротрона быстрого вращения. Предполагается, что сооружение CSNS займет семь лет, и начало ввода в эксплуатацию и эксплуатации запланировано на 2016 и 2018 годы соответственно. В Швеции в стадии разработки находится европейский источник нейтронов скалывания (ESS). Этот источник, который расположен в Лунде, Швеция, и управляется совместно с Данией, будет финансироваться и эксплуатироваться на основе партнерства 17 европейских стран. В настоящее время осуществляется анализ технического проекта – он послужит планом для сооружения ESS, начать которое планируется в 2013 году. Начало работы ESS намечается на 2019 год, и предполагается, что он откроет новые возможности для ученых в различных областях научных исследований, связанных с анализом материалов как в массовых масштабах, так и на молекулярном уровне. Эти области исследований включают металлургию, материаловедение, в том числе наноматериалы и новые материалы для энергетических исследований, археологию, экологическую инженерию, пищевые технологии, а также химические, биохимические и фармацевтические науки.

127. Землетрясение и цунами, произошедшие в марте 2011 года в Японии, нанесли серьезный ущерб Японскому протонному ускорительному исследовательскому комплексу (J-PARC). В 2011 году проводилась оценка причиненного ущерба и велись ремонтные работы, после чего, как ожидается, эксплуатация J-PARC возобновится.

128. В ответ на растущий спрос со стороны научного сообщества по всему миру сооружаются новые синхротронные установки. В настоящее время в Лунде, Швеция, сооружается синхротронная установка третьего поколения MAX IV, и завершение строительства и ввод в эксплуатацию этой установки запланированы на 2014 год. Ее проект на втором этапе предусматривает также возможность использования лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Кроме того, в 2011 году в Испании начались работы по запуску установки синхротронного излучения ALBA, и ожидается, что в начале 2012 года на ней смогут принять ее первых пользователей.

129. Существенно продвинулись работы в связи с ЛСЭ – установками четвертого поколения – FERMI@Elettra (Италия), XFEL (Германия) и SwissFEL (Швейцария). Введенная в эксплуатацию весной 2011 года установка FERMI@Elettra способна генерировать очень короткие импульсы (длительностью менее  $10^{-15}$ с) в диапазоне длин волн 10-100 нанометров (нм). Появление фемтосекундных лазеров совершило революцию во многих областях науки, от физики твердого тела до биологии. Эти новые горизонты исследований сверхбыстрых процессов в вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) и рентгеновском диапазоне стимулируют разработку новых генераторов фемтосекундных импульсов.



*РИС. С-1. Принципиальная схема лазера на свободных электронах FERMI и внутренний вид установки (фото публикуется с разрешения FERMI@Elettra).*

130. Международное сотрудничество играет ключевую роль в сфере ионно-пучковых применений. Пример такого сотрудничества – финансируемый ЕС проект CHARISMA (Инфраструктуры перспективных исследований культурного наследия: синергия междисциплинарного подхода к сохранению/реставрации). В проекте CHARISMA объединены усилия ведущих европейских музеев (таких как музей Прадо, Британский музей), научно-исследовательских лабораторий (таких как французская синхротронная установка Soleil) и университетских исследовательских групп, направленные на обеспечение общего доступа к современным установкам, развитие технологий, применимых к культурному наследию, и организацию подготовки молодых ученых-исследователей. Для исследований объемных, микроскопических и поверхностных свойств предметов культурного наследия, таких как картины, скульптуры, изделия из металла, керамика, рукописи и печатные книги, археологические находки и др., используется целый ряд методов, включая как традиционные, так и современные аналитические методы.

## **С.2. Исследовательские реакторы**

131. В последние пять лет ряд государств-членов стали проявлять большой интерес к ядерной энергии и другим ядерным технологиям, в том числе к применению медицинских и промышленных изотопов, произведенных с применением реакторов, и использованию ядерных технологий для продвижения передовой науки. В результате исследовательские реакторы становятся все более важными компонентами развития национальных или региональных

ядерных инфраструктур<sup>21</sup>. Кроме того, Агентство работает с государствами-членами над повышением устойчивости функционирования установок на основе международных объединений, центром которых является одна или несколько установок, и в этой связи возникла тенденция к расширению использования и восстановления старых исследовательских реакторов.

132. В конце 2011 года во всем мире насчитывалось 672 исследовательские реакторные установки, из которых 232 были действующими, 13 были временно остановлены, 211 были остановлены окончательно, 213 были выведены из эксплуатации и 3 находились в стадии сооружения<sup>22</sup>. Кроме того, 2 проекта были запланированы и 5 отменены. Исходя из предварительных обсуждений с Агентством, 14 государств-членов (подробности ниже) рассматривают возможность сооружения или планируют строительство новых исследовательских реакторов. Для многих государств-членов – это первые шаги в национальной программе освоения ядерной энергии параллельно с другими мирными применениями ядерных технологий. В частности, Азербайджан, Саудовская Аравия, Судан и Тунис находятся на ранней стадии планирования строительства исследовательских реакторов, что является частью более масштабных национальных ядерно-энергетических программ. В Иордании началось сооружение многоцелевого исследовательского реактора мощностью 5 МВт, а проект во Вьетнаме нацелен на создание нового исследовательского реактора в поддержку национальной ядерно-энергетической программы. Страны с развитой сферой ядерных технологий – в том числе Аргентина, Бразилия, Индия, Республика Корея, Нидерланды, Российская Федерация, Франция и Южная Африка – также сооружают или планируют строительство новых исследовательских реакторов для конкретных экспериментальных и коммерческих целей.

133. 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 потребуются более активное международное сотрудничество. Сети международного сотрудничества оказываются полезными также в модернизации существующих и разработке новых установок. Таким образом, в дополнение к существующим шести объединениям исследовательских реакторов в Прибалтике, Карибском бассейне (которое включает также страны Латинской Америки), Центральной Африке, Центральной Азии, Восточной Европе и Средиземноморском бассейне, предполагается – и необходимо – создать новые объединения и сети, с тем чтобы расширить эксплуатацию и использование исследовательских реакторов и обеспечить жизнеспособность остающихся реакторов. В этой связи Агентство оказывает государствам-членам помощь также в создании объединенной по тематике сети исследовательских реакторных установок, в рамках которых на началах сотрудничества может вестись совместная работа по эксплуатации и техническому обслуживанию, включая разработку методологии для реализации услуг Агентства по оценке эксплуатации и обслуживания исследовательских реакторов (ОМАРР). Основными задачами миссий ОМАРР являются проведение всеобъемлющих независимых авторитетных рассмотрений вопросов эксплуатации и технического обслуживания исследовательских реакторных установок; проверка соблюдения существующих на установке регламентов; рекомендации в отношении областей, требующих усовершенствований; а также содействие взаимному обмену знаниями и

---

<sup>21</sup> Дополнительная информация имеется в соответствующем приложении к «Обзору ядерных технологий – 2012» на веб-сайте GovAtom/GC.

<sup>22</sup> Согласно базе данных по исследовательским реакторам Агентства (<http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/>).

опытом между экспертами миссий и персоналом реактора. Эта сеть будет содействовать также обмену информацией, связанной с управлением старением исследовательских реакторов, сотрудничеству в осуществлении соответствующих проектов координированных исследований, усилиям по решению общих задач и расширению совместной деятельности.

134. Основные вопросы и задачи, которые в настоящее время стоят в связи с исследовательскими реакторами, широко обсуждались на проходившей с 14 по 18 ноября 2011 года в Рабате, Марокко, Международной конференции по исследовательским реакторам: безопасное управление и эффективное использование. Это организуемое Агентством важное мероприятие, посвященное исследовательским реакторам, проводится каждые четыре года. В частности, на последней конференции, был сделан вывод о том, что объединения по тематике исследовательских реакторов дают возможность предоставлять продукты и услуги на базе нескольких реакторов, которые невозможно получить на одном реакторе, и что, следовательно, государствам-членам следует, по возможности, присоединяться к таким объединениям. Другой важный вывод заключается в том, что государства-члены, которые планируют сооружение нового исследовательского реактора, должны применять подход Агентства, предусматривающий достижение заданных рубежей, и обеспечивать наличие соответствующих планов использования и инфраструктуры безопасности и регулирования. В настоящее время конструкторы и поставщики исследовательских реакторов предлагают широкий спектр исследовательских реакторов и вспомогательных установок. На конференции им было рекомендовано применять подход, предусматривающий безопасность, заложенную в саму конструкцию, а также прилагать все усилия для максимального улучшения параметров безопасности и эффективности, в том числе учесть уроки, извлеченные из аварии на АЭС "Фукусима-дайти". Кроме того, на основе исследования, проведенного Агентством с помощью вопросника, на конференции было отмечено, что определенные меры в ответ на аварию на АЭС «Фукусима-дайти» были приняты на двух третях охваченных опросом исследовательских реакторных установок. Конференция рекомендовала операторам исследовательских реакторов активно пересматривать свои проектные основы и анализы безопасности в целях определения необходимости введения изменений и внесения усовершенствований (с учетом характеристик площадки и установки), для обеспечения устойчивости установок к воздействию нескольких одновременно возникающих тяжелых внешних событий.

135. В рамках выдвинутой США Инициативы по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ) в течение 2011 года продолжалось осуществление ее миссии, предусматривающей минимизацию присутствия высокообогащенного урана (ВОУ) в гражданском ядерном секторе, в том числе путем перевода топлива исследовательских реакторов и мишеней, используемых для производства радиоизотопов с ВОУ на низкообогащенный уран (НОУ). В 2009 году масштабы ИСГУ были расширены со 129 исследовательских реакторов, которые работают на ВОУ топливе, до примерно 200 реакторов по всему миру, и к концу 2011 года, 76 из них либо были переведены на НОУ топливо, либо до перевода были остановлены. Один из последних примеров – это исследовательский реактор во Вьетнаме, на котором 30 ноября 2011 года была достигнута критичность с 72 сборками из НОУ топлива, что явилось завершением начатой в 2008 году работы по переводу активной зоны реактора с ВОУ на НОУ.

136. При поддержке Агентства ряд государств-членов вернули ВОУ топливо исследовательских реакторов в страну происхождения. В 2010 году весьма успешно был осуществлен возврат топлива в Российскую Федерацию, когда из Винчи, Сербия, в Российскую Федерацию было возвращено 2500 кг отработавшего топлива. Работа по возврату топлива с успехом продолжалась в 2011 году, когда многое было сделано и в других государствах-членах. С Харьковским институтом (Украина) был подписан трехсторонний контракт на возврат до

марта 2012 года в Российскую Федерацию его последних запасов свежего ВОУ топлива (около 224 кг). Китай продолжал работы по переводу своего малогабаритного реактора – источника нейтронов (МРИН) с ВОУ на НОУ, и он готовится к работе с государствами-членами, которые приобрели такие реакторы, с целью помочь им в переводе реакторов на низкообогащенное топливо и репатриации их ВОУ топлива. В августе и ноябре 2011 года правительство Мексики подписало соглашения о переводе принадлежащего этой стране исследовательского реактора TRIGA на НОУ и о возврате топлива в США. Первая партия топлива была отправлена в декабре 2011 года, и возврат топлива был завершен к февралю 2012 года.

137. В 2011 году продолжался также перевод производства медицинских изотопов с ВОУ на НОУ, и в этой сфере достигнут существенный прогресс. С конца 2007 года до третьего квартала 2010 года в связи с неоднократными и непредвиденными остановками старых реакторов, которые использовались для облучения мишеней, а также прекращением работы установки по обработке урановых мишеней государства-члены сталкивались с серьезным дефицитом молибдена-99 (Mo-99). В 2011 году, когда была возобновлена эксплуатация реакторов и производственных установок и в относительно небольшом сообществе поставщиков появились новые производители, этот дефицит уменьшился, и производители возобновили перевод мишеней для получения Mo-99 с ВОУ на НОУ. Австралия сообщила о прогрессе в своих усилиях по увеличению производства Mo-99 на основе НОУ, а в ноябре 2011 года Египет подтвердил, что были проведены успешные работы по облучению и приемо-сдаточные испытания для производства Mo-99 из НОУ мишеней. Южная Африка продолжала промышленное производство Mo-99 из НОУ мишеней, а два крупнейших производителя медицинских изотопов (Бельгия и Нидерланды) начали также подготовку и осуществление планов работы по переводу своих промышленных производственных процессов с ВОУ на НОУ. Кроме того, в 2011 году Агентство завершило шестилетний проект координированных исследований (ПКИ), в рамках которого оказывалась помощь семи государствам-членам (Египту, Казахстану, Ливии, Малайзии, Пакистану, Румынии и Чили) в их усилиях по оценке возможности национального мелкомасштабного производства Mo-99 на основе деления НОУ или методами нейтронной активации. Наконец, в 2011 году определенный импульс получили исследования в области альтернативных путей производства Mo-99, основанных на использовании ускорителей, и, по-видимому, в последующие годы эта работа продолжится.

138. Для перевода высокопоточных и высокоэффективных исследовательских реакторов требуется разрабатываемое в настоящее время усовершенствованное уран-молибденовое топливо очень высокой плотности. Несмотря на достигнутый в 2011 году значительный прогресс в разработке и аттестации уран-молибденового топлива, для обеспечения своевременной коммерческой доступности аттестованного НОУ топлива очень высокой плотности необходимы дальнейшие усилия и испытания, особенно в контексте программ по облучению и ПРИ.

## **Д. Продовольствие и сельское хозяйство**

### **Д.1. Животноводство и ветеринария**

139. В июне 2011 года Конференцией Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) была принята резолюция, в которой объявлялось об искоренении чумы крупного рогатого скота в мире. Агентство праздновало это знаковое достижение на 55-й очередной сессии своей Генеральной конференции в сентябре 2011 года. Ядерные и связанные с ними методы внесли важный вклад в искоренение чумы крупного

рогатого скота благодаря разработке и осуществлению диагностических тестов. Важную роль в мониторинге кампании по вакцинации и статуса заболеваемости стадных животных, а также в наблюдении за популяциями крупного рогатого скота для подтверждения отсутствия болезни сыграл, в частности, твердофазный иммуноферментный анализ (ТИФА) – тест, при котором можно обнаружить специфические антитела к вирусу чумы крупного рогатого скота, а также вирус. Он основан на ранее разработанном маркировании антител радиоизотопами с использованием фосфора-32 и серы-35 в качестве маркеров для вторичных антител. В существующих тест-системах ТИФА для инактивации потенциальных возбудителей инфекции и обеспечения безопасности серологических тестов используются облученные компоненты (сыворотки и антигены). Эти методы актуальны также для борьбы с другими трансграничными болезнями животных.

140. Традиционное отслеживание миграционных путей диких птиц с использованием обычных внешних маркеров или спутниковых технологий (кольцевание или прикрепление передатчиков) может дать информацию лишь об ограниченном количестве этих диких птиц, имеющих такую метку. В 2011 году было продемонстрировано, что технология отслеживания с помощью стабильных изотопов может дать информацию о каждой пойманной или мертвой птице. Это оказалось чрезвычайно полезным для эпидемиологических исследований птичьего гриппа (отслеживание источника вспышки), поскольку эта болезнь может легко распространяться на большие расстояния за относительно короткий период времени. Проявляется все больший интерес к использованию этой технологии для отслеживания происхождения животноводческой продукции, предназначенной для торговых сетей, вне зависимости от предусмотренной законом документации, необходимой для импорта и экспорта такой продукции. Если говорить конкретно о птицах, то состав стабильных изотопов в оперении, когтях и клюве может различаться в зависимости от их траектории перемещения и пищевого стереотипа, и это позволяет определять пути миграции. Проверка концепции была проведена в 2011 году, а исследования начнутся в 2012 году в рамках проекта координированных исследований (ПКИ) с целью объединения данных, полученных с помощью анализа состава стабильных изотопов, с данными, полученными в результате обнаружения вирусов в пробах окружающей среды (экскременты птиц, природное водохранилище) и при генетическом штрих-кодировании. Это позволит установить одновременно как пути миграции, так и соответствующий вид птиц и их статус носителя с использованием более гибких стратегий отбора проб.

141. Если в исследованиях с гамма-облученными вакцинами для бактериальных (*Brucella abortus*, *Listeria monocytogenes*), протозойных (*Trypanosoma anulata*, *Schistosoma japonicum*, *Plasmodium*, *Theileria parva*) и паразитарных (*Dictiocaulus viviparous*, *Dictiocaulus filarial*) патогенов получены многообещающие результаты, то производство облученных вирусных вакцин все еще является недостаточно изученным. Результаты, представленные учеными из Школы молекулярных и биомедицинских наук Университета Аделаиды, Австралия, на совещании экспертов, организованном в Центральном учреждении Агентства в Вене, Австрия, в апреле 2011 года, продемонстрировали, что инактивированные гамма-лучами вакцины от гриппа могут вызывать гораздо более сильный иммунный ответ, чем обычные (инактивированные или ослабленные) вакцины. Это включает клеточный иммунитет, опосредованный как Т-, так и В-клетками, тогда как обычные вакцины вызывают главным образом только клеточный иммунитет, опосредованный В-клетками. Кроме того, эти вакцины демонстрируют перекрестную реактивность в различных подвидах гриппа, что расширяет сферу действия иммунитета. Ожидается, что в ближайшем будущем дальнейшие исследования возможности использования облучения для производства вирусных вакцин (для ящура, лихорадки Рифт-Валли, гриппа и других вирусных патогенов) вероятно будут существенным образом способствовать совершенствованию стратегий борьбы с определенными болезнями животных.

142. В рамках реагирования на произошедшую в 2011 году аварию на АЭС «Фукусима» Агентство работает над совершенствованием программного обеспечения, предназначенного для отбора, анализа проб и интерпретации данных и принятия решений в отношении загрязнения продуктов питания в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации. Это программное обеспечение разработано в качестве базы данных со ссылочной целостностью, в которой для перехода на индивидуальные параметры в процессе отбора проб/представления отчетов используются уникальные номера. Концепция состоит, таким образом, в том, что это программное обеспечение будет способно генерировать многочисленные определяемые пользователем отчеты в реальном масштабе времени. Кроме того, для государств-членов разрабатываются комплексные информационные пакеты с целью оказания им содействия в реализации восстановительных мер, связанных с продуктами животноводства и другой сельскохозяйственной продукцией. После завершения разработки это программное обеспечение будет служить платформой для обеспечения государств-членов руководящими принципами в отношении совершенствования своих национальных планов чрезвычайных мер, а также укрепления сельскохозяйственных контрмер после ядерной аварии.

## **D.2. Рациональное использование почвы и воды**

143. Ожидается, что к 2050 году численность населения в мире достигнет 9 миллиардов человек, т.е. за 39-летний период она вырастет примерно на 2 миллиарда человек. Это означает, что ожидаемый рост спроса на воду составит 50%. В сельском хозяйстве в настоящее время 11% земной суши используется под растениеводство, и 70% всей воды, забираемой из водоносных горизонтов, рек и озер, также расходуется на сельское хозяйство. С учетом существующих тенденций в эффективности и увеличении водопользования в сельском хозяйстве прогнозируется, что для удовлетворения этого спроса потребуется повысить эффективность водопользования в сельском хозяйстве, а также улучшить практику защиты качества воды на сельскохозяйственных угодьях. Достижения в ядерных технологиях могут помочь решить эти проблемы.

### **D.2.1. Прогнозы потерь воды и их воздействия на засоленность в условиях систем лиманного орошения посредством использования стабильных изотопов**

144. Недавние исследования<sup>23</sup> показали, что замеры изменений в изотопных сигнатурах воды (дейтерий и кислород-18) на различных этапах лиманного орошения можно использовать для оценки потерь воды за счет испарения и транспирации с пахотных земель с учетом различных видов почв и норм орошения. Этот подход основан на принципе, по которому молекулы воды, включающие в себя более легкие изотопы (водород-1 и кислород-16), покидают при испарении поверхность жидкости с большей легкостью, чем включающие в себя более тяжелые изотопы (дейтерий и кислород-18), в результате чего происходит обогащение остающейся воды тяжелыми изотопами. Эти исследования продемонстрировали также, что мониторинг дейтерия, кислорода-18 и концентраций хлоридов в оросительных водах, почвенной воде и подповерхностных водах с течением времени может помочь в оценке воздействия испарения и транспирации на развитие засоленности почв в условиях систем лиманного орошения. Результаты четырех проведенных в Австралии в 2011 году исследований свидетельствуют о

---

<sup>23</sup> Van den AKKER, J. et al.: Salinity Effects from Evaporation and Transpiration under Flood Irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 137 (2011):1-11

том, что транспирация является главной причиной потери воды, в результате чего она является главным фактором, способствующим увеличению воздействия засоленности, о чем можно судить по замерам увеличения концентрации соли в почвах за длившийся 14 дней период изучения в ходе лиманного орошения. Воздействие засоленности в результате транспирации (0,4-2,6 т соли/га) было в 3-50 раз выше воздействия засоленности в результате испарения (0,01-0,3 т соли/га) оросительных и почвенных вод.

## **D.2.2. Измерение влажности почвы на обширных территориях с помощью нейтронов космических лучей**

145. Информация о содержании влаги в почве на обширных территориях полезна для оценки потребности различных сельскохозяйственных культур в воде, и потому она помогает в составлении графиков крупномасштабного орошения, прогнозов урожайности и проведении исследований по изменению климата. Выполнение этих измерений было в прошлом связано со сложностями, поскольку большинство существующих приборов имеют небольшой радиус измерения влажности почвы – диаметр круга с чувствительным элементом в центре составляет 0,05–1 м. В результате необходимо производить большое число измерений, что может требовать как больших затрат времени, так и финансовых средств. Недавняя разработка в Австралии и США подхода на основе использования нейтронов космических лучей является подлинным прорывом<sup>24</sup>. Этот метод предусматривает измерение быстрых нейтронов, генерируемых естественным образом космическими лучами, и быстрых нейтронов, исходящих из почвы в результате столкновения с водой, находящейся на поверхности или рядом с поверхностью земли, что позволяет картировать влажностный режим почвы на участке диаметром примерно 700 м на глубину до 70 см, а это охватывает корневые зоны большинства сельскохозяйственных культур. В результате этот новый прибор может дополнить устройства для точечных измерений, такие как нейтронный зонд для измерения влажности почвы (НЗВП), и позволить производить надежные замеры содержания влаги в почве в масштабе всей площади участка. Кроме того, нейтронный зонд для измерений по космическим лучам, применяемый в рамках данной методики, которая называется также "системой наблюдения за влажностью почвы с помощью космических лучей" (COSMOS), является надежным, легко транспортабельным в полевых условиях и позволяет обрабатывать данные о влажности почвы на площади, в тысячу раз превышающей площадь, охватываемую НЗВП. Таким образом, метод COSMOS требует меньше времени и является более экономичным для измерения влажности почвы на обширных территориях. Он может использоваться также для оценки равномерности распределения влаги и эффективности крупномасштабных систем орошения.

---

<sup>24</sup> DESILETS, D. et al. Nature's neutron probe: Land surface hydrology at an elusive scale with cosmic rays. *Water Resour. Res.*, **46** (2010): W11505, doi:10.1029/2009WR008726.



*РИС. D.1. Установка COSMOS на пастбищных угодьях в Австралии (фото публикуется с разрешения д-ра Криса Смита, Научно-промышленная исследовательская организация Содружества (CSIRO): отдел земельных и водных ресурсов, Канберра).*

### **D.2.3. Плутоний ( $^{239}\text{Pu}$ и $^{240}\text{Pu}$ ) — потенциальное использование радионуклидов выпадений для оценки эрозии почвы и деградации земельных ресурсов**

146. Недавние исследования<sup>25 и 26</sup> показали, что альфа-излучающие изотопы плутония плутоний-239 и плутоний-240 (с периодом полураспада 24110 лет и 6561 год соответственно) могут использоваться для отслеживания перемещения почвы и отложений в водоемах. Эти изотопы аналогичны цезию-137<sup>27</sup> в том, что они являются радионуклидами выпадений, появившимися в результате испытаний ядерного оружия, и, как правило, присутствуют в большинстве почв, в связи с чем нет необходимости осуществлять мечение почвы этими изотопами. Однако главное преимущество плутония-239 и плутония-240 по сравнению с цезием-137 заключается в более длительном периоде полураспада изотопов плутония по сравнению с периодом полураспада цезия-137 (30 лет), что обеспечивает долгосрочное использование плутония в качестве индикатора перемещения почвы и отложений. Для проверки применения этих изотопов в широком спектре агроэкологических условий требуется проведение дополнительных исследований.

---

<sup>25</sup> TIMS, S.G. et al.: Plutonium as a tracer of soil and sediment movement in the Herbert River, Australia. Nucl Instrum Meth Section B. **268** (2010) 1150-1154.

<sup>26</sup> HOO, W.T et al. 2011: Using fallout plutonium as a probe for erosion assessment. J. Environ. Radio. **102** (2011), 937-942.

<sup>27</sup> ZUPANC, V and MABIT, L. 2010. Nuclear techniques support to assess erosion and sedimentation processes: preliminary results of the use of  $^{137}\text{Cs}$  as soil tracer in Slovenia. Dela, **33** (2010) 21-36.

### **D.3. Сельскохозяйственные восстановительные мероприятия и технологии смягчения последствий радиоактивного загрязнения**

147. Сельскохозяйственные контрмеры для борьбы с радиоактивным загрязнением были впервые осуществлены на широкомасштабной основе после Кыштымской аварии в 1957 году на предприятии по переработке топлива «Маяк» в бывшем Советском Союзе<sup>28</sup>. Эти методы были адаптированы, доработаны и применены в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Для пахотных земель и пастбищ были предложены новые сельскохозяйственные восстановительные меры, учитывающие свойства почвы (рис. D.2.). Были разработаны и осуществлены в широких масштабах в пострадавших от аварии районах эффективные контрмеры по минимизации загрязнения продукции животноводства, такие как добавление в корм для животных связывающих конкретные радионуклиды сорбентов (например, железо-аммонийного гексацианоферрата для снижения поглощения радиоактивного цезия желудком жвачных животных), введение стабильных аналогов, таких как кальций, для подавления поглощения радиоактивного стронция, чистое кормление животных и постоянный контроль за ними.



*РИС. D.2. Применение почвенных восстановительных мер на влажных торфяных лугах у села Елья, Ровенская область, Украина (фото публикуется с разрешения Украинского НИИ сельскохозяйственной радиологии, Киев).*

<sup>28</sup> Alexakhin, R.M., "Remediation of areas contaminated after radiation accidents and incidents", Remediation of contaminated environments (Voigt, G. and Fesenko, S., Eds.), Elsevier, Amsterdam (2009) 177-222, Ch. 4.

148. В результате был получен и проанализирован большой объем данных об эффективности сельскохозяйственных контрмер, а также информация о сопутствующих факторах, таких как требуемые ресурсы и затраты. Кроме того, предпринимались значительные усилия по выявлению многих других факторов, влияющих на потенциальное применение различных восстановительных мер. Среди этих факторов – различные условия окружающей среды, свойства радионуклидов, землепользование на загрязненных площадях и практика восстановительных мероприятий, которые уже применяются местными фермерами и заинтересованными сторонами. Все эти факторы могут оказывать большое влияние на эффективность сельскохозяйственных мер. Эти выводы и извлеченные уроки были недавно критически проанализированы Агентством в докладе Чернобыльского форума<sup>29</sup> и в некоторых последовавших за этим рассмотрениях, проведенных Агентством и другими международными организациями<sup>30</sup>.

149. Авария на АЭС «Фукусима» в Японии в 2011 году, которая существенным образом затронула большие площади сельскохозяйственных угодий, вызвала новые проблемы. Многие методы, которые эффективно использовались после кыштымской и чернобыльской аварий (почвенные и агрохимические восстановительные меры), подвергаются проверке и частично применяются в районе Фукусимы, однако особые условия пострадавших территорий требуют разработки новых подходов для обеспечения безопасности пищевых продуктов и устойчивого производства сельскохозяйственной продукции. В частности, были предложены новые методы для восстановительных работ на затопляемых рисовых полях.

150. Хорошо известно, что снятие верхнего почвенного слоя ведет к образованию больших объемов почвы, подлежащих захоронению. В Японии в качестве одного из методов облегчения процесса удаления верхнего слоя почвы меньшей толщины было опробовано применение отвердителя почвы (рис. D.3.). Преимущество этой технологии заключается в том, что она позволяет быстрее и эффективнее удалять радиоактивность (более чем на 80%) с загрязненной почвы. Время, затрачиваемое на проведение восстановительных работ, не превышает десяти дней на гектар (включая время, необходимое для отвердения верхнего слоя почвы после применения раствора отвердителя).

---

<sup>29</sup> [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1239\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1239_web.pdf)

<sup>30</sup> Fesenko, S.V., Alexakhin, R.M., Balonov, M.I., Bogdevich, I.M., Howard, B.J., Kashparov, V.A., Sanzharova, N.I., Panov, A.V., Voigt, G., Zhuchenko, Y.M., An extended review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident, *Sci. Total. Environ.* **383** (2007) 1-24.



*РИС. D.3. Экспериментальное удаление верхнего слоя почвы после применения отвердителя почвы (публикуется с разрешения Министерства сельского, лесного и рыбного хозяйства (МСЛРХ) / Японского агентства по атомной энергии (ЯААЭ) / Национальной организации по исследованиям в сельскохозяйственных и продовольственных отраслях (НАРО), Япония).*

151. Второй новый метод, испытываемый в Японии, предназначен для залитых водой почв (т.е. затопляемых рисовых полей). Уровни радиоактивности в почве снижаются путем уплотнения тонкого верхнего слоя почвы в условиях затопления, осушения суспендированной почвы (от глинистой фракции до фракции тонкой пыли), отделения осадков от воды и, наконец, захоронения только одних осадков (рис. D.4.).



*РИС. D.4. Осушение суспендированной почвы на затопляемых полях в Японии как один из вариантов восстановительных мероприятий (публикуется с разрешения МСЛРХ-НАРО).*

152. Эффективность этого метода в снижении концентрации радиоактивного цезия в почве и дозы внешнего облучения, как это было отмечено в 2011 году на испытательном полигоне в префектуре Фукусима, составляло от 15% до 70% в зависимости от свойств почв, т.е. содержания глины и гумусности. Следует отметить, что при применении этого метода образуется примерно в 30 раз меньше отходов, чем в случае методов, основанных на традиционном удалении верхнего слоя почвы толщиной 4 см. Поэтому при использовании этого метода снижение плодородия почв сводится к минимуму.

## **Д.4. Альтернативы гамма-облучению в методе стерильных насекомых<sup>31</sup>**

153. Для стерилизации насекомых в программах борьбы с насекомыми-вредителями традиционно использовались излучатели кобальт-60 или цезий-137, обеспечивающие получение ионизирующего гамма-излучения. Вместе с тем в связи с ростом логистических трудностей и проблем, связанных с трансграничной перевозкой радиоизотопов, начали предприниматься усилия по изучению других методов стерилизации насекомых для использования в программах борьбы с насекомыми-вредителями. Автономные низкоэнергетические рентгеновские облучатели, используемые в медицинских учреждениях для облучения крови, испускают рентгеновское излучение только при включении электропитания, а их энергия находится в пределах нескольких сотен кэВ, в результате чего для этих аппаратов требуется гораздо менее мощная защита, чем в случае гамма-облучателей.

154. Для сравнения воздействия на насекомых кобальта-60 и рентгеновского излучения были проведены испытания по стерилизации. Информация об уровне остаточной плодовитости, о показателях появления взрослых особей и конкурентоспособности при спаривании при облучении гамма-лучами и рентгеновским излучением самцов, конкурирующих за обладание плодовитыми самками в полевых садках, пока не показывает значительных различий. Несколько государствам – членам Агентства уже поставлены аппараты, в которых произведены все модификации, сделать которые было сочтено целесообразным на этапе аттестации. Однако для сбора данных в объеме, достаточном для подтверждения жизнеспособности альтернативного метода стерилизации насекомых в рамках обычных условий широкомасштабного применения, потребуется несколько лет.

## **Е. Здоровье человека**

### **Е.1. Питание**

#### **Е.1.1. Влияние качества роста в первые 1000 дней на здоровье человека на более позднем этапе его жизни**

155. Растет признание того, что надлежащее питание в течение первой тысячи дней жизни от зачатия до двухлетнего возраста может оказывать огромное влияние на способность ребенка к росту и учебе, а также на риск развития таких хронических заболеваний, как диабет и болезни сердца, на более позднем этапе жизни человека<sup>32</sup>. Нынешние нормы оценки роста ребенка в первую очередь основываются на весе и длине тела или росте (ВОЗ, Женева, 2006 год<sup>33</sup> и 2011 год<sup>34</sup>). Медицинские работники могут контролировать рост ребенка с использованием диаграмм, на которых показан нормальный рост в соотношении с весом и длиной тела или ростом в зависимости от возраста. Хотя эти антропометрические показатели и важны, есть потребность в том, чтобы определение здорового роста включало и показатели «качества

---

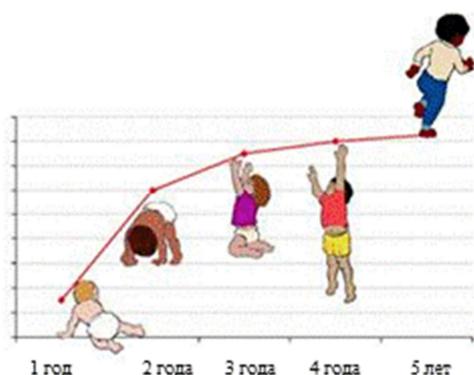
<sup>31</sup> Дополнительная информация имеется в соответствующем приложении к «Обзору ядерных технологий – 2012» на веб-сайте GovAtom/GC.

<sup>32</sup> См. веб-сайт, посвященный тысяче дней: <http://www.thousanddays.org/>.

<sup>33</sup> WHO Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for height and body mass index-for-age: Methods and development. Geneva: World Health Organization (WHO), 2006. См.: [http://www.who.int/childgrowth/standards/technical\\_report/en/](http://www.who.int/childgrowth/standards/technical_report/en/).

<sup>34</sup> WHO Anthro (version 3.2.2, January 2011): Software for assessing growth and development of the world's children. См.: <http://www.who.int/childgrowth/software/en/>.

роста». Здоровый рост связан с развитием мышечной ткани, тогда как излишняя жировая масса тела связана с повышенным риском неинфекционных заболеваний во взрослом возрасте. Однако нормы по композиционному составу тела у детей в настоящее время отсутствуют.



*РИС. Е.1. График, заимствованный из Норм роста детей, разработанных ВОЗ, показывает развитие роста ребенка в первые пять лет его жизни. Эти нормы основаны на данных (рост, вес, возраст) примерно 8500 здоровых, вскормленных грудью младенцев и детей различного этнического происхождения из различной культурной среды: Бразилия, Гана, Индия, Норвегия, Оман и Соединенные Штаты Америки. (Авторское право ВОЗ, 2006 год)*

156. Во многих странах с переходной экономикой улучшение показателей веса детей происходит без соответствующего улучшения показателей роста, в результате чего при измерении роста детей нормального веса последние все чаще относятся к числу детей с низким ростом и относительным ожирением. В связи с этим возникает озабоченность по поводу «качества роста». Младенцы аналогичного веса или роста могут существенно отличаться друг от друга по композиционному составу тела. Например, индийские младенцы при рождении маленькие и худые по сравнению с европейскими новорожденными детьми, но они имеют больше жировой ткани и в большей степени подвержены риску неинфекционных заболеваний на более позднем этапе взрослой жизни<sup>35</sup>. Ясно, что, хотя измерения роста и веса дают полезную информацию, необходимо оценивать компоненты, вносящие вклад в массу тела, в частности, относительные процентные соотношения безжировой массы (БМ) и жировой массы (ЖМ).

157. Ядерные методы, такие как изотопное разбавление с использованием стабильных изотопов, обеспечивают преимущества с точки зрения чувствительности и специфичности при проведении мониторинга относительно небольших изменений в композиционном составе тела и могут использоваться, например, для оценки программ нутриционного вмешательства, предназначенных для борьбы с двойным бременем связанных с питанием болезней, когда острая малнутриция соединяется с тучностью и сопутствующими хроническими заболеваниями<sup>36</sup>.

<sup>35</sup> YAJNIK, C.S. et al., Neonatal anthropometry: the thin-fat Indian baby. The Pune Maternal Nutrition Study, *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 27 2 (2003) 173–180.  
WORLD HEALTH ORGANIZATION, Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies, *Lancet* 363 (2004) 157–163.

<sup>36</sup> CORVALAN, C. et al., Impact of growth patterns and early diet on obesity and cardiovascular risk factors in young children from developing countries, *Proc. Nutr. Soc.* 68 3 (2009) 327–337.

158. В Чили методы стабильных изотопов использовались для оценки программ нутриционного вмешательства, направленных на снижение распространенности тучности у детей дошкольного возраста. Распространенность тучности у детей (в возрасте 2–3 лет), посещающих государственные детские сады, снизилась с 10,4% до 8,4%. Поскольку была признана необходимость более раннего вмешательства, в 2011 году была разработана новая программа, в рамках которой методы стабильных изотопов будут использоваться для оценки эффективности программы содействия развитию моторики и физической активности у детей в возрасте 6–24 месяцев.

159. Агентство в тесном сотрудничестве с международными экспертами подготовило в 2011 году руководящие принципы по стандартизации методов, используемых для оценки композиционного состава тела у младенцев и детей<sup>37</sup>. Эти руководящие принципы являются важным первым шагом к установлению норм для анализа роста и питания младенцев и детей с использованием ядерных и неядерных методов оценки композиционного состава тела.

## **Е.2. Достижения радиационной медицины в области лечения рака**

### **Е.2.1. Необходимость качественного управления данными в современной радиотерапии**

160. В течение последнего десятилетия технология радиационной онкологии становится все более сложной и компьютеризированной. Ряд средств и приспособлений для лечения, которые вручную вводятся в пучки излучения для заданного изменения флюенса (интенсивности) и, тем самым, для оптимизации лечения, имеются теперь и в виде цифровых устройств. Так, например, форма пучка излучения в настоящее время часто задается многолепестковыми коллиматорами, которые не только формируют поле, но и могут также перемещаться в пределах поля во время процедуры. Уже невозможно вручную программировать и выполнять такие сложные процедуры лечения из-за большого числа индивидуальных параметров, определяющих лечение методами лучевой терапии. Поэтому необходимы электронные истории болезни. В этих историях болезни фиксируются не только личные данные пациентов, предписанные им режимы и дозы облучения, но и детали всех параметров, определяющих каждое поле облучения. Для обеспечения того, чтобы эти истории болезни не могли быть искажены и содержали точную информацию, гарантирующую воспроизводимость лечения при осуществлении процедур во время курса лучевой терапии, который обычно занимает несколько недель, необходима иерархическая система мер безопасности с защитой паролем.

161. Система регистрации и подтверждения (СРП) – это система управления базами данных для пациентов, проходящих лечение лучевой терапией, которая является центральным элементом самых современных, работающих на базе цифровых технологий отделений лучевой терапии. В таких системах взаимосвязаны все компоненты: радиотерапевтическое оборудование для визуализации, для планирования лечения и его проведения (см. рис. Е.2.). Радиотерапевтическое оборудование часто поставляется различными поставщиками, и потому для обеспечения целостности передачи данных по всем интерфейсам необходимо соблюдать общие протоколы цифровой передачи данных. Все радиотерапевтическое оборудование традиционно проходит строгие процедуры контроля качества для обеспечения надлежащего

---

UAUY, R., KAIN, J. and CORVALAN, C., How can the Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD) hypothesis contribute to improving health in developing countries?, *Am. J. Clin. Nutr.* 94 6 (2011) 1759S–1764S

<sup>37</sup> Международное агентство по атомной энергии, *Body Composition Assessment from Birth to Two Years of Age* (в печати).

функционирования всех режимов. Однако при этом отсутствуют международные руководящие принципы, касающиеся приемочных испытаний и систематических процедур обеспечения качества СРП. В целях содействия безопасному и эффективному лечению пациентов Агентство разработало в 2011 году руководящие принципы рационального менеджмента качества СРП, которые были одобрены всеми основными поставщиками радиотерапевтического оборудования.

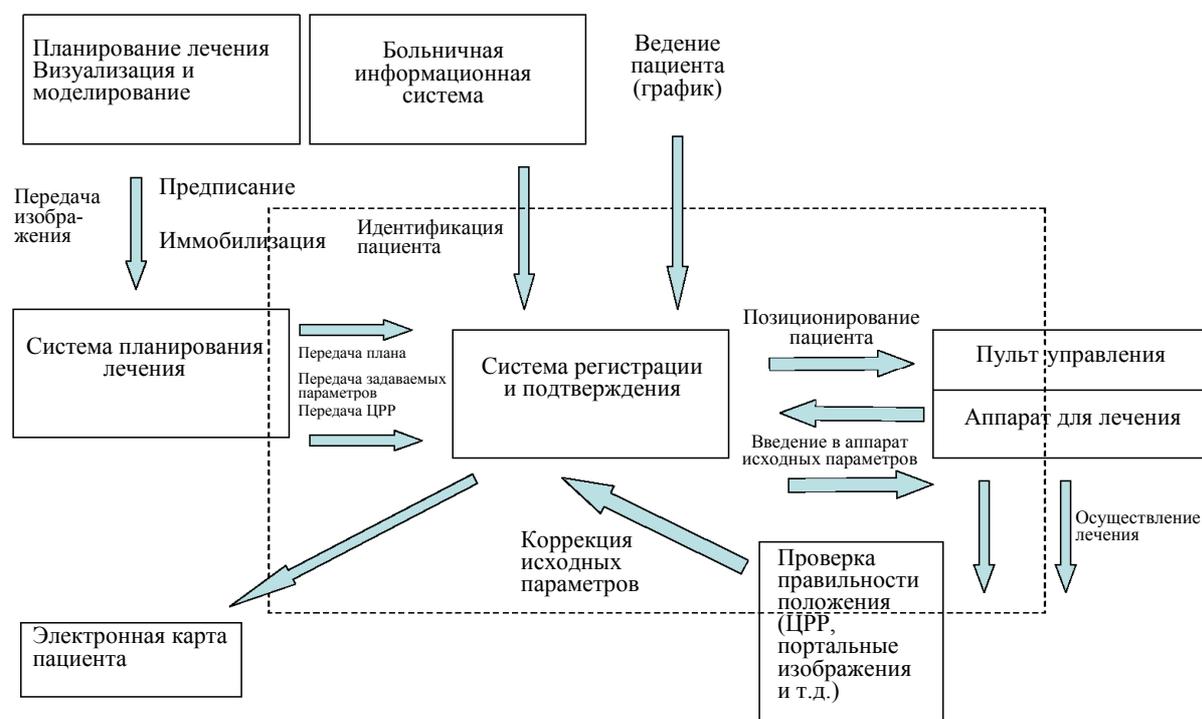


РИС. Е.2. Схематическое изображение типичного обмена данными между СРП и другими единицами оборудования в современном отделении лучевой терапии. Разные производители могут предлагать различные решения, обеспечивающие большую или меньшую степень интеграции различных компонентов.

## Е.2.2. Современные тенденции в лечении рака с применением лучевой терапии

162. Главной целью практики лучевой терапии является точное воздействие на опухоли с максимальным предотвращением воздействия на нормальные ткани. За последние два десятилетия возможности достижения этой цели существенно повысились. Этот прогресс стал возможным благодаря достижениям в технологиях визуализации, в частности в развитии компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной визуализации (МРВ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и совмещенной ПЭТ/КТ<sup>38</sup>.

163. Прогресс в технологии визуализации и достижения в компьютерных технологиях радикальным образом изменили процессы воздействия на опухоль и планирование лучевой терапии. Возможность отображать анатомическую информацию в бесконечном наборе изображений привела к появлению трехмерной конформной лучевой терапии (3D-КЛТ); это способ, при котором подвергающийся воздействию объем ткани близко соответствует форме объема опухоли.

<sup>38</sup> VIKRAM, B., COLEMAN, C.N., DEYE, J.A., Current status and future potential of advanced technologies in radiation oncology: challenges and resources. Oncol 23 3 (2009) 279.

164. **Лучевая терапия с модуляцией интенсивности (ЛТМИ)** – это метод, в котором интенсивность дозы распределяется неравномерно в тончайших пучках, называемых бимлетами. Возможность оптимального манипулирования интенсивностью индивидуальных лучей в каждом пучке позволяет гораздо лучше контролировать общий флюенс облучения (т.е. общее число фотонов/частиц, падающих за данный интервал времени на заданный объем). Это, в свою очередь, позволяет индивидуально проектировать оптимальные распределения доз. Улучшение распределения доз часто приводит к повышению результатов борьбы с опухолями и снижению токсичности в обычных тканях<sup>39</sup>.

165. **Лучевая терапия с визуальным контролем (ЛТВК)** может быть определена как технология, направленная на повышение прецизионности лучевой терапии за счет частой визуализации мишени и/или здоровых тканей непосредственно перед лечением и посредством последующего адаптирования лечения на основе этих изображений. Существует целый ряд вариантов визуального контроля: неинтегрированное КТ-сканирование, интегрированная рентгеновская визуализация (в киловольтном диапазоне), активные имплантированные маркеры, ультразвуковые устройства, односрезовая КТ, традиционная КТ или интегрированная конусно-лучевая КТ<sup>40</sup>.

166. **Спиральная томотерапия (СТ)** – это метод лучевой терапии, при которой облучение производится по срезам (поэтому используется приставка «томо», которая в переводе с греческого означает «срез»). Этот метод облучения отличается от других форм внешней лучевой терапии, при которых весь объем опухоли облучается одновременно<sup>41</sup>. Главное преимущество этого метода – это относительно короткое общее время облучения.

167. **Ротационная терапия с модуляцией объема излучения (РТМО)** – это метод, при котором облучение прецизионно выстроенным трехмерным распределением доз производится за один оборот системы гантри линейного ускорителя на 360 градусов<sup>42</sup>. Это стало возможным благодаря алгоритму планирования лечения, при котором в ходе лечения одновременно меняются три параметра: скорость вращения гантри, форма терапевтической апертуры с подвижными лепестками многолепесткового коллиматора и мощность дозы облучения.

168. **Стереотаксическая лучевая терапия (СЛТ)** (также называемая «радиохирургией»), хотя к хирургии она отношения не имеет) заключается в доставке относительно высокой дозы излучения на небольшой объем с использованием метода прецизионной стереотаксической локализации. Стереотаксический компонент этого метода связан с иммобилизацией или фиксацией пациента с помощью жесткого крепления головы в каркасе, в результате чего устанавливается рассчитанная на данного пациента система координат для всего процесса лечения<sup>43</sup>. Этот метод обычно применяется при лечении внутричерепных опухолей. После установки каркаса, как правило с использованием четырех черепных зажимов, упирающихся в наружную пластинку свода черепа, производится визуализационное исследование (КТ, МРВ) для локализации целевого объема относительно координат фиксирующего каркаса.

---

<sup>39</sup> GALVIN, J.M., EZZEL, G., EISBRUCH, A., et al., Implementing IMRT in clinical practice: a joint document of the American Society for Therapeutic Radiology and Oncology and the American Association of Physicists in Medicine, *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 58 5 (2004) 1616–34.

<sup>40</sup> VAN HERK, M., Different styles of image guided radiotherapy, *Seminars in Radiation Oncology*, 17 4 (2007) 258–267.

<sup>41</sup> ROCK MACKIE, T., et al., Tomotherapy; a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy. *Med Phys* 20 6 (1993) 1709–1719.

<sup>42</sup> OTTO, K., Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med Phys* 35 1 (2008) 310.

<sup>43</sup> BOURLAND, J.D., “Stereotactic radiosurgery”, *Clinical Radiation Oncology*, 2nd edn (GUNDERSON, L.L., TEPPER, J., Eds), Elsevier Churchill Livingstone, (2007) 151 Ch. 6.

169. **Роботизированная лучевая терапия** – это безрамная система роботизированной радиохирургии. Двумя главными элементами роботизированной лучевой терапии являются небольшой линейный ускоритель для облучения и роботизированная рука-манипулятор, позволяющая направлять энергию на любую часть тела с любого направления.

170. **Брахитерапия (БТ)** – это применение лучевой терапии путем размещения радиоактивных источников рядом с опухолями или непосредственно в них, либо в полостях тела. При такой терапии высокая доза излучения может доставляться локально к опухоли с быстрым падением мощности дозы в нормальных тканях, окружающих опухоль. В прошлом брахитерапия проводилась в основном с использованием радиевых или радоновых источников. В настоящее время быстрыми темпами расширяется использование произведенных искусственным путем радионуклидов, таких как цезий-137, иридий-192, золото-198, иод-125 и палладий-103.

171. **Лучевая терапия с синхронизацией по дыханию.** Онкологи-радиологи сталкиваются с особыми проблемами при лечении частей тела, положение органов и опухолей в которых может смещаться в ходе сеансов лучевой терапии. Движение мишени вследствие дыхания или по любой другой причине во время терапевтической процедуры увеличивает риск неточного попадания на целевой участок или занижения действующей на него дозы. По мере повышения точности облучения смещение органов и опухоли становится фактором, определяющим в значительной степени точность доставки дозы. Это особенно важно в случае опухолей, находящихся в грудной клетке, поскольку они перемещаются при дыхании. Проблема смещения возникает не только применительно к опухолям в грудной клетке; во время сеансов терапии и в перерыве между ними происходит также смещение в целом опухолей в гортани, брюшной полости (печени), предстательной железе и мочевом пузыре, а также в области таза.

172. **ПЭТ в планировании лучевой терапии.** В последние годы в онкологии наметилась растущая тенденция к использованию визуализации с помощью ПЭТ и ПЭТ/КТ. Помимо диагностики, определения стадии болезни, обнаружения рецидива и планирования последующих мер, одним из главных применений ПЭТ/КТ является оценка эффекта лечения и планирование лечения. Кроме осуществления анатомической визуализации ПЭТ позволяет получить молекулярную информацию о микроокружении опухоли (проводить «функциональную визуализацию»). Поэтому чрезвычайно полезно использовать данные ПЭТ при планировании лучевой терапии. Хорошим примером индивидуализированного лечения является применение функциональной визуализации для более точного определения границ мишени, подлежащей облучению. По сути, вместо использования заранее установленного поля или нескольких полей, доза излучения фокусируется индивидуально на опухоли каждого больного<sup>44</sup>.

173. **Терапия заряженными частицами: пучками протонов и тяжелыми ионами.** В области радиационной онкологии расширяется применение терапии заряженными частицами, основанной на использовании пучков протонов. По данным Объединенной группы по терапии заряженными частицами, по состоянию на март 2010 года в мире насчитывалось 30 действующих центров протонной терапии, и курс лечения этим методом прошли более 67 000 пациентов. Прогнозируется, что в ближайшем будущем количество действующих центров протонной терапии возрастет вдвое.

---

<sup>44</sup> CHITI, A., KRIENKO, M., GREGOIRE, V., Clinical use of PET-CT data for radiotherapy planning; What are we looking for? *Radiot Oncol* 96 (2010) 277–279.

174. Недавние технические достижения в области радиационной онкологии позволили улучшить распределение доз и снизить токсичность в случае некоторых локализаций опухолей, что, в свою очередь, может обеспечивать потенциально более высокие шансы локального контроля опухолей и улучшение показателей эффективности лечения. Это – одна из причин роста популярности данного метода лечения среди онкологов-радиологов и руководителей лечебных учреждений. Вместе с тем повышение доходов лечебных учреждений, связанное с внедрением ЛТМИ и других новых технологий, может привести к чрезмерно широкому использованию этих методов. Клинические и научные доказательства, касающиеся локального контроля опухолей и общей выживаемости при раке в случае большинства локализаций опухолей, в целом на данный момент не являются убедительными.

175. МАГАТЭ в рамках своей Программы действий по лечению рака и в сотрудничестве со своими партнерами, такими как Всемирная организация здравоохранения, продолжает оказывать комплексное содействие государствам-членам в борьбе с раковыми заболеваниями. В 2011 году состоялось восемь комплексных миссий в рамках ПДЛР для оценки национального потенциала и потребностей в различных компонентах комплексной борьбы с раком в Алжире, Боливии, Колумбии, Лесото, Нигерии, Парагвае, Уганде и на Филиппинах. В семи из восьми проектов МДПП (в Албании, Вьетнаме, Гане, Йемене, Монголии, Никарагуа, Танзании и Шри-Ланке) были проведены последующие миссии по линии ПДЛР и ее партнеров с целью осуществления контроля за выполнением рекомендаций по применению комплексного подхода к борьбе с раком в рамках партнерств.

### **Е.2.3. Диагностическая визуализация и лечение рака молочной железы<sup>45</sup>**

176. Хотя распространенность рака молочной железы (выраженная в виде стандартного возрастного показателя) в развитых странах почти в три раза выше, чем в развивающихся странах, это заболевание является самым распространенным видом рака у женщин вне зависимости от уровня социально-экономического развития страны. Смертность растет, особенно в тех районах мира, где не реализуются программы ранней диагностики. Возраст, семейный анамнез и генетика, поздняя первая беременность и тучность являются общепризнанными факторами риска заболевания раком молочной железы. Решающую роль в скрининге рака молочной железы и в классификации и определении размера опухоли играет визуализация.

177. Большинство случаев заболеваний раком молочной железы диагностируется с помощью рентгеновской маммографии – обычно в ходе осуществления программ скрининга в масштабах страны. В качестве важного дополнения к физическому обследованию и маммографии при оценке вызывающих подозрение/сомнительных объемных образований в молочной железе обычно используется ультразвуковое исследование (УЗИ). Ультразвук стал также предпочтительным методом, используемым при проведении чрескожных интервенционных процедур на объемных образованиях в молочной железе – от толстоигольной биопсии до абляции. Магнито-резонансная визуализация (МРВ) с контрастным веществом играет важную роль в определении того, являются ли сомнительные по результатам маммографического обследования объемные образования в молочной железе злокачественными или доброкачественными образованиями, а также в установлении локальных размеров злокачественного образования.

---

<sup>45</sup> Дополнительная информация имеется в соответствующем приложении к «Обзору ядерных технологий – 2012» на веб-сайте GovAtom/GC.

178. Помимо радиологической визуализации (маммография, УЗИ, МРВ), методы ядерной медицинской визуализации играют все более возрастающую вспомогательную роль в диагностическом определении характеристик паталогических изменений молочной железы, особенно при использовании специальных устройств визуализации молочной железы, как при обычной сцинтимаммографии, так и, прежде всего, при позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Радионуклидные процедуры необходимы для радиоуправляемой хирургии у больных раком молочной железы с целью радиоуправляемой локализации скрытых паталогических изменений или же проведения радиоуправляемой биопсии сигнального лимфатического узла на этапе основного лечения. ПЭТ-сканирование всего тела играет также важнейшую роль в системном стадировании, повторном стадировании после неoadъювантной терапии локально распространенного рака молочной железы, а также в оценке эффективности противоопухолевой терапии.

179. Лечение рака молочной железы обычно проводится с применением хирургического вмешательства в комбинации с лучевой терапией, химиотерапией и гормональной терапией. Выбор метода лечения зависит от клинико-паталогических факторов прогноза, включающих стадию заболевания при первом обращении к врачу, гистологию и дифференциацию опухоли, возраст и менопаузальный статус, наличие или отсутствие эстрогеновых и/или прогестероновых рецепторов и увеличение уровня экспрессии рецепторов эпидермального фактора роста 2 типа человека (*HER2/neu*).

180. Послеоперационная лучевая терапия при ранних стадиях рака молочной железы улучшает локальный контроль опухоли и повышает выживаемость. Вместе с тем у пациенток, перенесших рак молочной железы, в долгосрочной перспективе более высока вероятность развития осложнений. Обычно через десять или более лет после лечения возникают проявления кардиотоксичности, такие как заболевания коронарных артерий, перикардит, кардиомиопатия, клапанные пороки, нарушение проводимости сердца и т.д. Достижения технологий лучевой терапии последнего десятилетия способствовали снижению токсичности при лечении рака молочной железы. Использование трехмерной конформной лучевой терапии (3D-КЛТ) позволяет применять необходимую дозу излучения на объеме, близко соответствующем объему опухоли. При этом можно щадить нормальные органы (например, сердце, легкие).

181. Лучевая терапия с модуляцией интенсивности дозы (ЛТМИ) является сложным видом трехмерной конформной лучевой терапии, при которой интенсивность дозы распределяется неравномерно в тончайших пучках, называемых бимлетами. Возможность оптимального манипулирования интенсивностью индивидуальных лучей в каждом пучке (так называемый «дозовый пэинтинг», представляющий собой плоскостное планирование неравномерного распределения дозы под визуальным контролем) позволяет эффективно распределять дозы: дозы высокой мощности воздействуют на опухоль, а дозы низкой мощности – на нормальные органы (сердце, легкие, кожа и т.д.).

182. Использование другого высокопрецизионного передового метода лучевой терапии, который успешно применяется в лечении рака молочной железы, позволяет решать проблему смещения мишени при нормальном дыхании. При этом методе осуществляется четырехмерное планирование, когда учитывается движение мишени во времени, и потому его можно называть также «четырёхмерной конформной лучевой терапией (4D-КЛТ)». Такая компьютеризированная лучевая терапия с синхронизацией по дыханию позволяет анализировать движение грудной клетки и инициирует воздействие пучка лучей, синхронизированное с дыхательным циклом. Для облучения может быть выбрана конкретная

фаза дыхательного цикла (вдох или выдох). Поэтому мишень всегда будет находиться в пучке излучения, причем оно не будет оказывать излишнее воздействие на критические органы со снижением запаса безопасности<sup>46</sup>.

183. При ускоренном частичном облучении молочной железы (УЧОМЖ), когда ложе опухоли обрабатывается высокой дозой за фракцию и когда весь локальный послеоперационный курс проводится за пять или менее дней, брахитерапия (БТ) с высокой мощностью дозы (ВМД) может применяться вместе с внешней лучевой терапией. Брахитерапия – это процедура лучевой терапии, в которой радиоактивные источники размещаются рядом с опухолями/ложе опухоли или в них, либо в полостях тела. В такой терапии высокая доза излучения может доставляться локально в опухоль с быстрым падением дозы в окружающих опухоль нормальных тканях. Для лечения рака молочной железы может использоваться интерстициальная мультикатетерная БТ или внутриволокнистая БТ с применением надувных баллонов.

184. Лечение локально распространенного рака молочной железы (прогрессивная форма опухоли в груди >5 см или распространившаяся на кожу или грудную стенку, либо опухоль любого размера в груди с метастазами в региональные лимфатические узлы) по-прежнему связано с серьезными трудностями<sup>47,48</sup>. При операбельной болезни (когда опухоль или узлы не фиксированы и отсутствуют отдаленные метастазы, например, в костной ткани, мозге, печени и т.д.) лечение проводится с применением хирургического вмешательства в сочетании с химиотерапией и/или гормональной терапией, а также облучением. Эффективность каждого метода была продемонстрирована в ходе широких исследований методом случайной выборки<sup>49,50,51,52</sup>. Даже при адьювантной химиотерапии после надлежащего хирургического вмешательства существует существенный риск локорегионального рецидива. Факторы риска неблагоприятного локорегионального исхода включают возраст, размер опухоли, предменопаузальный статус, число позитивных лимфатических узлов и применение системной

---

<sup>46</sup> GIKAS, S.M., YORKE, E., Deep inspiration breath hold and respiratory gating strategies for reducing organ motion in radiation treatment, *Seminars in Radiat Oncol* **14** 1 (2004) 6575.

<sup>47</sup> SINGLETARY S.E., ALLRED, C., ASHLEY, P., et al., Revision of the American Joint Committee on Cancer Staging System for breast cancer. *J Clin Oncol* 2002; **20** (17): 3628-3636.

<sup>48</sup> GREENE, F.L., PAGE, D.L., FLEMING, I.D., et al (eds), *AJCC Cancer Staging Manual*, Sixth Edition, 2002; New York, NY, Springer-Verlag.

<sup>49</sup> TAGHIAN, A.G., JEONG, J.H., MAMOUNAS, E.P., et al, Low locoregional recurrence rate among node-negative breast cancer patients with tumors 5 cm or larger treated by mastectomy, with or without adjuvant systemic therapy and without radiotherapy: results from five national surgical adjuvant breast and bowel project randomized clinical trials. *J Clin Oncol* 2006; **24** (24): 3927-3932.

<sup>50</sup> TAGHIAN, A., JEONG, J., MAMOUNAS, E. et al., Patterns of loco regional failure in patients with operable breast cancer treated by mastectomy and adjuvant chemotherapy with or without tamoxifen and without radiotherapy: results from five national Surgical Adjuvant breast cancer and Bowel Project randomized clinical trials. *J Clin Oncol* 2004; **22** (21): 4247-4254.

<sup>51</sup> NIELSEN, H.M., OVERGAARD, M., GRAU, C., JENSON, A.R., OVERGAARD, J., Study of failure pattern among high-risk breast cancer patients with or without postmastectomy radiotherapy in addition to adjuvant systemic therapy: long-term results from the Danish Breast Cancer Cooperative Group DBCG 82 b and c randomized studies. *J Clin Oncol* 2006; **24** (15): 2268-2275.

<sup>52</sup> RECHT A., GRAY, R., DAVIDSON N.E., et al., Locoregional failure 10 years after mastectomy and adjuvant chemotherapy with or without tamoxifen without irradiation: experience of the Eastern Cooperative Oncology Group. *J Clin Oncol* 1999; **17** (6): 1689-1700.

терапии. Локорегиональный рецидив может проявиться уже через 3-12 месяцев<sup>53</sup>, но большинство локорегиональных рецидивов возникает в течение 3 лет.

185. МАГАТЭ в рамках программы координированных исследований (CRP E33025) изучает больных раком молочной железы, которые перенесли мастэктомию и которым требуется послеоперационная лучевая терапия. В рамках этих клинических исследований проводится сравнение двух разных местных установок для лучевой терапии, для выяснения возможности предупреждения облучения надключичной области. Поскольку достижение целей клинических исследований МАГАТЭ базируется на использовании потенциальных преимуществ ресурсосберегающих стратегий, при фракционировании, применяемом в этом исследовании, общая продолжительность лучевой терапии сокращается до 3 недель против 5 недель в случае стандартного фракционирования. Такой подход позволит интенсивно работающим отделениям лучевой терапии, имеющим длинные очереди на получение лечения, использовать основанные на доказательствах протоколы, обеспечивающие более короткий или более простой курс лечения.

## **Г. Окружающая среда**

### **Г.1. Большие преимущества радио-аналитических экспресс-методов при оценке радиоактивного загрязнения в чрезвычайных ситуациях**

186. Авария на АЭС "Фукусима" показала, что может потребоваться проведение анализа огромного количества проб окружающей среды в весьма сжатые сроки, что создает серьезную нагрузку на кадровые, материальные и логистические ресурсы аналитических лабораторий. Очень большой объем получаемых фактически в режиме реального времени данных, которые регулярно передавались японскими компетентными органами, говорит о том, что в таких ситуациях важно ускорить производительность процесса анализа и оптимизировать аналитические стратегии таким образом, чтобы соблюдались нормативные пределы и критерии качества.

187. Как в случае ядерных аварийных ситуаций, так и в случае аварийных выбросов различных ядерных установок или при злонамеренных действиях, связанных с радиологической атакой, оперативность, с которой оценка выбросов в окружающую среду и ее загрязнения предоставляется компетентным органам, может оказать серьезное воздействие на безопасность подвергающихся риску отдельных лиц или групп населения. Сразу же после инцидента, в результате которого может произойти выброс в окружающую среду, рекомендуется использовать такие общепринятые методы радиационного мониторинга, как измерение мощности дозы и методы экспресс-скрининга, к которым относятся мониторинг аэрозолей и газов и картирование радиоактивного загрязнения. Во многих видах аварийных ситуаций могут проводиться экспресс-оценки радиоактивного загрязнения с помощью полевых методов гамма-спектрометрии, таких как скрининг осадений на месте, картирование загрязнения почвы с использованием мобильных устройств, а также атмосферные и подводные гамма-обследования. Таким образом, за относительно короткие промежутки времени можно осуществить скрининг обширных территорий, определить степень и масштабы загрязнения и оптимизировать стратегии отбора проб.

---

<sup>53</sup> ADENIPEKUN, A., CAMPBELL, O.B., OYESEGUN, A.R., ELUMELU, T.N., Radiotherapy of early breast cancer in Ibadan: outcome of chest wall irradiation alone in clinically nodes free axilla. African Journal of Medicine & Medical Sciences 2002; 31(4): 345 - 7.

188. На более поздней стадии радиологического события должны быть выполнены более точные и тщательные анализы проб, отобранных согласно утвержденным протоколам, что позволит более точно оценить радиационное облучение. Всесторонняя реконструкция дозы требует анализа всего спектра радионуклидов, в том числе имеющих газообразную, дисперсную и жидкую формы, начиная с самых ранних стадий выброса. Обычно при анализе всей пробы или пробы, подвергшейся радиохимической обработке, проводятся суммарные и спектральные альфа-, бета- и гамма-измерения. Авария на АЭС "Фукусима" убедительно продемонстрировала важность существования аналитических лабораторий, которые в состоянии справиться с потенциально значительным ростом их рабочей нагрузки. Экспресс-методы позволяют сокращать требующееся для анализа время до нескольких часов или дней вместо нескольких дней или недель. Аттестация и внедрение таких методов необходимы прежде всего в случае радионуклидов, создающих значительную радиологическую опасность во всех потенциально затрагиваемых экологических средах, а также – что весьма важно – применительно к пищевым продуктам и кормам.

189. Использование хорошо описанных и аттестованных процедур отбора и анализа проб особенно важно при проведении оценок воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте, когда задействованы несколько лабораторий или лабораторных сетей, и где одной из важнейших проблем является сопоставимость измерений. Агентство оказывает лабораториям и лабораторным сетям государств-членов поддержку посредством обучения, проектов координированных исследований (ПКИ), предоставления эталонных материалов по широкому диапазону загрязнителей, совместной разработки и внедрения аналитических методов и организации квалификационных испытаний и межлабораторных сравнений. Координируемая Агентством сеть АЛМЕРА – глобальная сеть аналитических лабораторий по измерению радиоактивности окружающей среды – состоит из лабораторий, назначенных государствами-членами, и имеет целью обеспечивать надежное и своевременное проведение анализа проб окружающей среды в случае аварийного или преднамеренного выброса радиоактивности.

190. АЛМЕРА занимается совместной аттестацией экспресс-методов и в дальнейшем сосредоточит свои усилия на радионуклидах и пробах, представляющих интерес для чрезвычайных ситуаций. Аттестационные испытания, организованные в рамках сети АЛМЕРА в 2011 году, были сосредоточены на альфа-, бета- и гамма-излучателях в пробах почвы и воды. В целях испытания аналитической функциональности лабораторий в условиях ограниченного времени для представления оперативной отчетности по радионуклидам, испускающим гамма-излучение, был установлен краткий 3-дневный срок после получения образцов. В будущем, с тем чтобы исчерпывающим образом охватить все потребности, возникающие в аварийных ситуациях, Агентством и лабораториями сети АЛМЕРА будут разработаны дополнительные эталонные материалы и аттестационные испытания с короткими сроками подготовки сообщений. В 2012 году особое внимание будет уделено качеству и сравнимости результатов анализов аэрозольных проб.

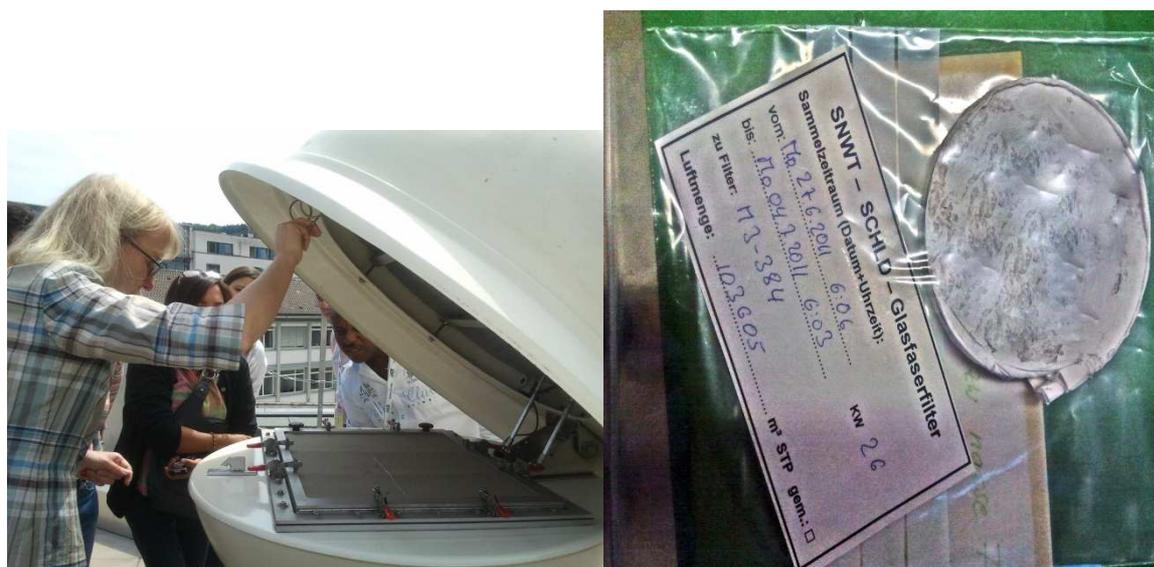


РИС. F.1. Участникам организованных Агентством Межрегиональных курсов повышенного типа по радиоактивности морской среды: аналитические методы и управление качеством, проходивших в 2011 году на базе Технологического института Карлсруэ, демонстрируется большой аэрозольный коллектор, используемый Федеральной службой радиационной защиты в Зальцгиттере, Германия, и аэрозольный фильтр с компактированным материалом для немедленного счета с помощью гамма-спектральных измерений.

191. Авария на АЭС "Фукусима" продемонстрировала также, что распределение аналитической нагрузки среди лабораторий в рамках тщательно скоординированной сети и развертывание мобильных лабораторий являются полезным дополнительным решением и требуют заблаговременного планирования. Для содействия своевременному принятию решений равным образом важны быстрая и надежная аттестация данных и механизмы передачи информации. Современная технология мобильной связи позволяет получить непосредственно на местах сочетание положительных черт компьютеризированных реляционных баз данных, географических информационных систем, мультимедийной документации, онлайн-доступа к процедурам и оперативной помощи, которая позволяет обеспечить отслеживаемость и качество данных. Интеграция дистанционного зондирования с гидрометеорологическими наблюдениями и моделированием важна для обеспечения оперативного руководства в корректировке стратегии мониторинга, а также для дальнейших действий при подготовке реагирования компетентных органов. В отличие от чаще применяемого метода воздушной и наземной гамма-спектрометрии *in situ*, областью, в которой, очевидно, требуются технологические разработки, является подводный мониторинг *in situ* прибрежной морской среды посредством стационарной и мобильной гамма-спектрометрии с высокой разрешающей способностью, которая позволяет проводить реконструкцию жидких радиоактивных выбросов и экспресс-скрининг радиоактивного загрязнения воды и отложений.

## **G. Водные ресурсы**

192. Во всем мире продолжает расти спрос на воду для нужд сельского хозяйства, энергетики, промышленности и коммунально-городского хозяйства. Наряду со все большей озабоченностью по поводу воздействия прогнозируемого изменения климата на гидрологический цикл, этот растущий спрос вызывает существенные изменения в распределении водных ресурсов и управлении ими. В некоторых местах такая ситуация порождает конфликты из-за трудностей доступа к надежному водоснабжению, что было отмечено в докладе Всемирного дня водных ресурсов 2011 года<sup>54</sup>, где рассматривалась проблема доступа к воде в контексте городского развития. Поскольку большая часть поверхностных вод уже распределена и/или подвергается загрязнению, ожидается, что в ближайшем будущем еще большую роль будут играть подземные воды и они станут источником большей части пресной воды в мире. К сожалению, большинство стран испытывает недостаток необходимых знаний о своих ресурсах подземных вод, которые позволили бы им обеспечить для себя водоснабжение в достаточном объеме.

193. Для выработки надлежащей политики, которая будет способствовать совместному использованию ограниченных ресурсов, необходим доступ к надежной и всеобъемлющей информации о наличии и состоянии имеющихся водных ресурсов. Изотопные методы позволяют получить уникальную информацию, которая может быть использована для быстрой и эффективной оценки и картирования подземных вод. Изотопные методы и связанные с ними геохимические средства в сочетании с новыми разработками в области картирования с использованием географических информационных систем (ГИС) и геостатистических методов помогают экспертам и менеджерам по использованию водных ресурсов лучше определять границы, количественно оценивать и визуализировать геометрию, объемы и характеристики водоносных горизонтов и подземных водных объектов. Решающее значение для обеспечения доступа к воде на долгосрочной основе имеют карты, на которых определяются водные объекты, более устойчивые к изменению климата, или зоны активного пополнения.

### **G.1. Тенденции в сфере доступа к данным по стабильным изотопам**

194. В 2011 году использование недорогих и простых в эксплуатации устройств для анализа стабильных изотопов в воде (кислорода-18 и дейтерия), основанных на лазерной спектроскопии, стало стандартной процедурой для исследовательских групп во всем мире. Благодаря этим инновациям многие группы в развитых и развивающихся странах стали автономными в плане проведения анализа стабильных изотопов для гидрологических исследований, что позволяет избегать задержек в получении результатов анализов в известных лабораториях и получать выгоду от снижения затрат. Например, благодаря наличию такого анализатора более эффективно проводятся исследования по оценке запасов подземных вод на полуострове Санта-Элена в Эквадоре (см. рис. G.1). В следующем году разработка новых анализаторов углерода-13 и азота-15 на основе такой же технологии, как ожидается, ускорится, что облегчит использование этих изотопов для изучения подземных и поверхностных вод.

---

<sup>54</sup> См. [http://www.unwater.org/downloads/World\\_Water\\_Day\\_2011\\_Final\\_Report\\_Web.pdf](http://www.unwater.org/downloads/World_Water_Day_2011_Final_Report_Web.pdf)



*РИС. G.1. Улучшение доступа к грунтовым водам в общинах прибрежных районов Эквадора – один из результатов углубления научных знаний, приобретенных во многом благодаря данным, полученным с помощью анализаторов стабильных изотопов (публикуется с разрешения ESPOL, Гуаякиль, Эквадор).*

## **G.2. Определение возраста подземных вод**

195. В отличие от оборудования для анализа стабильных изотопов, во многих развивающихся государствах-членах необходимое аналитическое оборудование для измерения низких уровней активности радионуклидов, которые часто используются для определения возраста подземных вод, отсутствует, а оно важно для оценки устойчивости, уязвимости к загрязнению и темпов пополнения этих источников. Для получения этих знаний широко используются радионуклиды окружающей среды, такие как тритий и углерод-14. В последние годы целый ряд аналитических разработок позволил улучшить анализ этих изотопов (например, анализ трития с использованием метода образования гелия и масс-спектрометрии), но материальная база остается ограниченной. Аналогичным образом, в настоящее время все чаще применяется тритий/гелий-3 метод датирования молодых подземных водных объектов, но доступ к аналитической базе, которая может поддерживать эти приемы, также ограничен.

196. В последние год-два для датирования подземных вод, относящихся к нескольким возрастным диапазонам, значительно возросло использование изотопов инертных газов, и их использование продолжает расширяться, равно как и исследования в этой области. Например, такие учреждения, как Аргоннская национальная лаборатория, США, и Хайдельбергский университет, Германия, разрабатывают методы микроэлементного анализа с использованием атомной ловушки, которые открывают новые возможности для датирования подземных вод с использованием изотопов инертных газов. В случае молодых подземных вод (до 100 лет) используется криптон-85. В отношении пополнения ресурсов подземных вод возрастом до 2000 лет также успешно применяется аргон-39. В случае больших водоносных горизонтов в бассейнах осадочных пород, таких как система водоносного горизонта нубийских песчаников (СВГНП) в Северной Африке и система водоносного горизонта Гуарани в Южной Америке, где возраст подземных вод в этих глубоких водоносных горизонтах может достигать 1 млн. лет, все чаще используются такие долгоживущие радионуклиды, как криптон-81<sup>55</sup>, что позволяет

---

<sup>55</sup> См. <http://www.nytimes.com/2011/11/22/science/rare-krypton-81-isotope-helps-track-water-in-ancient-nubian-aquifer.html?src=dayp>

усовершенствовать модели потока и переноса подземных вод. Изотопная гидрология открывает возможности для получения необходимой информации об имеющихся количествах воды, а также о качестве воды и ожидаемой эволюции ресурсов. Агентство продолжает играть ключевую роль в анализе и оценке этих новых средств и методологий, а также в обеспечении доступа и передаче знаний заинтересованным государствам-членам.

## **Н. Производство радиоизотопов и радиационная технология**

### **Н.1. Радиоизотопы и радиофармацевтические препараты**

#### **Н.1.1. Сложившаяся ситуация в области производства с помощью генераторов радионуклидов для ПЭТ**

197. Прогресс в ядерной визуализации всегда был тесно связан с производством новых радионуклидов с новыми физическими и химическими свойствами. Полученные с помощью генераторов радионуклиды для использования в ПЭТ становятся более доступными, поскольку они могут производиться в лечебных учреждениях без применения циклотрона. В настоящее время на коммерческих генераторах  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  получают галлий-68 ( $^{68}\text{Ga}$ ), который широко используется в ПЭТ-визуализации. Это важная техническая разработка, поскольку  $^{68}\text{Ga}$ , по химическим свойствам похожий на лютеций-177 и иттрий-90 (два радионуклида, все более активно используемых для лечения некоторых видов рака), может применяться для мечения биологически активных пептидов, таких как октреотид, известным химическим способом посредством взаимодействия с DOTA и использоваться для определения размеров нейроэндокринных опухолей при диагностическом сканировании перед лечением. Благодаря успешному получению  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATATE многими исследователями активно изучается возможность использования меченных  $^{68}\text{Ga}$  пептидов для визуализации других видов опухолей. Одним из примеров является бомбезин, пептид, о котором известно, что он имеет рецепторы в опухолях груди, предстательной железы и легких. Осуществляется мечение  $^{68}\text{Ga}$  бомбезина, который оценивается на предмет полезности при визуализации подобных опухолей. Помимо систем генераторов  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  в различных исследовательских центрах ведется производство других потенциально интересных систем генераторов излучателей позитронов, в том числе, например, титана-44/скандия-44, селена-72/мышьяка-72 и неодима-140/празеодима-140.

#### **Н.1.2. Разработка микрофлюидных систем синтеза радиоиндикаторов для ПЭТ**

198. Для использования методов мечения биомолекул фтором-18 как радиоиндикаторов для иммуно-ПЭТ требуется широкая оптимизация условий радиомечения. В таких процессах, как правило, расходуется большое количество редко встречающихся биомолекул. В микрофлюидных системах используются небольшие количества растворов, содержащих активные ингредиенты для синтеза радиофармацевтических препаратов для ПЭТ. У микрофлюидных систем много преимуществ, таких как более эффективные химические реакции вследствие очень высокого отношения поверхности к объему, а также быстрое и точное регулирование температуры. Дополнительные преимущества – точно регулируемое, гибкое, постоянное повторяемое и надежное производство радиофармпрепаратов благодаря автоматизации процессов и недорогостоящим и взаимозаменяемым микрофлюидным ключевым компонентам одноразового применения и гарантированного качества. Для соблюдения требований радиационной защиты в микрофлюидной системе требуется

значительно меньше финансовых средств вследствие ее небольшого размера. Такая система обеспечивает также более рациональную эксплуатацию служебных помещений в лаборатории. Микрофлюидные системы особенно эффективны, когда рассматривается возможность использования для ПЭТ-радиомечения редко встречающихся и дорогих биомолекул.

199. Недавно разработанные чипы цифровых микрофлюидных капельных генераторов (ЦМКГ (DMDG)) могут обеспечивать компьютеризированное дозирование и смешение в определенных пропорциях метки фтора-18, биомолекулы и буферного раствора. Это позволяет реально добиться быстрой оптимизации условий реакции в нанолитровых объемах, что затем может быть использовано при лабораторном мечении фтором-18 фрагментов сконструированных антител конкретных видов рака. Эти методы, появившиеся в 2011 году, окажут значительное воздействие на доклиническое исследование и клиническое применение новых радиоиндикаторов для ПЭТ и особенно иммуно-ПЭТ, когда необходимые биомолекулы имеются в малом количестве. Новые методы мечения фтором-18 с использованием микрофлюидных технологий радиохимического синтеза разрабатываются рядом изготовителей в разных странах мира.

### **Н.1.3. Многочастичный циклотрон для производства изотопов**

200. Одна из тенденций, проявившихся в 2011 году, состоит в том, что ряд изготовителей модернизировали свои циклотронные системы для повышения силы тока и энергии пучка в целях удовлетворения нынешнего спроса на изотопы, используемые в клинических применениях однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), ПЭТ и в лечении. Новой тенденцией в циклотронных технологиях является разработка новых универсальных многочастичных циклотронов для производства изотопов, способных обеспечивать высокоинтенсивное ускорение протонов, дейтронов, гелия-3 и альфа-частиц, что позволяет использовать пучки не только протонов для производства достаточного количества радионуклидов. Пучки альфа-частиц могут использоваться для производства новых терапевтических изотопов, таких как испускающий альфа-частицы астат-211 и испускающая бета-частицы медь-67. Хотя каждый радионуклид может теоретически производиться несколькими ядерными способами, наиболее эффективной является реакция (p, n) на обогащенном изотопе-мишени. Появление многочастичных циклотронов расширит диапазон радионуклидов и обеспечит новые способы получения представляющих интерес радионуклидов, которые в настоящее время имеются в ограниченном количестве. Например, с помощью низкоэнергетических реакций (p, n), (p,  $\alpha$ ) или (d, n) могут производиться медь-64, иод-124 и иттрий-86, уже доказавшие свою полезность, а также новые радионуклиды, такие как кобальт-55, бром-76, цирконий-89, рубидий-82m, технеций-94m, иод-120 и т. д. Особого рассмотрения с точки зрения последующей химической обработки заслуживает вопрос о производстве таких радионуклидов, как железо-52, селен-73 и стронций-83 с использованием протонов или дейтронов средних энергий.

## **Н.2. Применение радиационных технологий**

### **Н.2.1. Перспективность гамма-облученной вакцины в борьбе с малярией**

201. Малярия – это потенциально смертельно опасное заболевание, от которого страдают миллионы людей во всем мире. Хотя вакцинация с использованием вакцин, содержащих живой ослабленный вирус, оказалась успешной в отношении ряда инфекционных заболеваний, в том числе полиомиелита, желтой лихорадки, кори и натуральной оспы, разработка эффективной вакцины против *Plasmodium falciparum*, самого смертоносного возбудителя малярии, продолжает оставаться одной из самых больших задач современной медицины.

202. На последнем Международном совещании по радиационной обработке (IMRP-2011), состоявшемся в июне 2011 года в Монреале, Канада, исследователи из компании «Санария инк.», Национального института стандартов и технологий (НИСТ) и компании «Протеин потенциал» сообщили о разработке высокоэффективной вакцины на основе ослабленных облучением спорозитов, которые предотвращают заражение малярией в кровяном русле, а также защищают от передачи заболевания. Данная вакцина состоит из метаболически активных, нереплицирующихся ослабленных спорозитов *Plasmodium falciparum* (PfSPZ), которые производятся посредством гамма-облучения. Была успешно выполнена задача изготовления достаточного количества вакцины, соответствующей нормам для начальной стадии клинических испытаний. Были успешно достигнуты важные цели, такие как определение дозы облучения, которая ослабляет всех возбудителей без подавления их иммуногенности, и разработка методологии облучения и системы контроля в полном соответствии со всеми действующими нормами надлежащей производственной практики, установленными Управлением по контролю за качеством продуктов питания и медицинских препаратов США (УПМ). Завершилась первая стадия испытаний вакцины PfSPZ, в которой участвовали 80 добровольцев и в ходе которой была продемонстрирована эффективность вакцины. В настоящее время вакцина находится на продвинутой стадии клинических испытаний, и она может заменить существующие вакцины, для которых характерна относительно высокая частота осложнений.

### **Н.2.2. Радиационно-привитые мембраны помогают в очистке загрязненных вод в районе АЭС «Фукусима»**

203. Цунами, вызванное сильным землетрясением в марте 2011 года в Японии, повредило систему электроснабжения и прекратило циркуляцию воды, охлаждающей ядерный реактор на АЭС «Фукусима-дайти». В результате расплавления активной зоны ядерного реактора радиоактивные материалы оказались рассеянными на прилегающей территории, в том числе в многочисленных водоемах.

204. Для выборочного удаления радиоактивного цезия из такой загрязненной воды Научным управлением квантовых пучков Японского агентства по атомной энергии (ЯААЭ) был разработан волокнистый полимерный абсорбент, полученный путем радиационной прививки подходящего мономера на полиэтиленовый нетканый материал, и были проведены его испытания. Радиационно-привитые абсорбенты в виде катушки использовались для удаления радиоактивного цезия из пруда в селе Иитатэ и из плавательного бассейна школы в городе Фукусима. Оба этих испытания завершились успешно. Еще одно преимущество этого метода состоит в том, что осуществляется не только удаление радиоактивного цезия, но и в результате непосредственного сбора токсичного компонента не образуются сточных вод, тем самым устраняется необходимость дополнительной обработки и очистки.



*РИС. Н.1. Использование радиационно-привитых мембран для удаления радиоактивного цезия из воды в районе АЭС «Фукусима» (публикуется с разрешения ЯААЭ, Такасаки, Япония).*

### **Н.2.3. Электронно-лучевая технология для производства биоэтанола из отходов агропромышленного комплекса**

205. Согласно недавно опубликованному Международным энергетическим агентством (МЭА) изданию «Technology Roadmap: Biofuels for Transport» («Дорожная карта развития технологий: биотопливо для транспорта») к 2050 году биотопливо будет составлять 27% от всего объема моторного топлива по сравнению всего лишь с 2% в настоящее время<sup>56</sup>. Это может привести к значительному сокращению выбросов CO<sub>2</sub> при повышении энергетической безопасности без ущерба для продовольственной безопасности, если будут использоваться отходы агропромышленного комплекса. Обычные виды биотоплива или биотопливо первого поколения производились из пищевых продуктов, например из кукурузы и сахарного тростника, а современные виды биотоплива или биотопливо второго поколения производятся из отходов агропромышленного комплекса, таких как солома, початки кукурузы и выжимки сахарного тростника. Одним из примеров биотоплива является биоэтанол, который аналогичен по свойствам бензину, но не содержит серы, легко поддается разложению и обеспечивает крестьян альтернативным источником дохода в дополнение к производству продуктов питания.

---

<sup>56</sup> См. [http://www.iea.org/papers/2011/biofuels\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/papers/2011/biofuels_roadmap.pdf).

Еще одним преимуществом биотоплива второго поколения, такого как биоэтанол, является сокращение выбросов парниковых газов по сравнению с бензином: исследования показывают, что этанол, произведенный из сахарного тростника, сокращает выбросы парниковых газов на 86-90%, если не происходит значительных изменений в землепользовании.

206. Производство современных видов биотоплива находится еще на стадии разработки, поскольку необходимо еще больше повысить эффективность преобразования биотоплива и сократить издержки. Что касается производства биоэтанола из целлюлозы, то одна из проблем – это медленный и дорогостоящий ферментативный гидролиз целлюлозы.

207. На Международном совещании по радиационной обработке, состоявшемся в июне 2011 года, сообщалось, что термический гидролиз (40 мин., 180°C) в комбинации с облучением (50 кГр) электронным пучком выжимок сахарного тростника приводит к сокращению объема олигосахаридов, образующихся в результате частичного разложения целлюлозы и гемицеллюлозы. Проведенные ранее работы исследовательских групп в Бразилии, Республике Корея, США и Японии показали, что облучение электронным пучком выжимок сахарного тростника дозой 30 кГр может ускорить гидролиз на 75% и повысить выход биоэтанола.



*РИС. Н.2. Сбор урожая сахарного тростника в Бразилии (публикуется с разрешения Института ядерных и энергетических исследований (ИПЕН), Сан-Паулу, Бразилия).*

### **Н.3. Использование радиационных технологий в горнодобывающей промышленности<sup>57</sup>**

208. Применение радиоактивных индикаторов и контрольно-измерительных приборов, основанных на ядерных технологиях, расширяется в горнодобывающей промышленности, главным образом при проведении разведочных работ и для обеспечения эффективной эксплуатации природных ресурсов. В то время как более легко детектируемые радиоизотопные индикаторы используются в неинвазивных исследованиях в перерабатывающей промышленности, контрольно-измерительные приборы, основанные на ядерных технологиях, применяются при разведке полезных ископаемых. Благодаря глубокому проникновению нейтронов и гамма-лучей ядерные методы подходят для применения при каротаже скважин и поэтому уже давно широко используются в нефтяной, газовой и урановой промышленности. Такие методы в настоящее время начинают также использоваться и в угольной и горнодобывающей промышленности.

---

<sup>57</sup> Дополнительная информация размещена на сайте GovAtom в документах, имеющих отношение к Обзору ядерных технологий – 2012.

209. Кроме того, в полевых и промышленных условиях для анализа на месте проб успешно используются различные методы ядерной спектрометрии. Современный портативный ядерный спектрометр обеспечивает огромную экономию времени и труда без ущерба для технических характеристик, которые соответствуют обычному лабораторному оборудованию.

210. Эти методы и технологии активно применяются, в частности, в горнодобывающей, металлургической и горноперерабатывающей промышленности. Благодаря получаемым полезным результатам использование радиоактивных индикаторов и контрольно-измерительных приборов, основанных на ядерных технологиях, в таких отраслях расширяется и постоянно развивается. Разрабатываются и получают практическое применение новые радиоактивные индикаторы, удобное для пользователей программное обеспечение, новые детекторы и системы сбора данных.