

Пятьдесят седьмая очередная сессия

Пункт 18 предварительной повестки дня
(GC(57)/1 и Add.1)

Обзор ядерных технологий – 2013

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 2012 году.
- В «Обзоре ядерных технологий – 2013» рассматриваются следующие области: энергетические применения, атомные и ядерные данные, ускорители и исследовательские реакторы, ядерная наука и применения. На веб-сайте Агентства¹ имеется связанная с "Обзором ядерных технологий - 2013" дополнительная документация на английском языке, посвященная применению ядерной технологии для производства водорода и урокам в области разработки усовершенствованных технологий строительства АЭС, извлеченным из аварии на АЭС "Фукусима-дайти".
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно также найти в Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2012 год (GC(57)/3), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2012 год (GC(57)/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.

¹ <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC57/Agenda/index.html>

Обзор ядерных технологий – 2013

Доклад Генерального директора

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. Мощность атомных электростанций в мире возросла в 2012 году до 372,5 ГВт (эл.), и в конце года в эксплуатации находилось 437 реакторов. К энергосети были подключены три новых реактора, и вновь началась эксплуатация двух реакторов, которые находились в состоянии «долгосрочного останова». В 2012 году были окончательно остановлены лишь 3 реактора по сравнению с 13 в 2011 году. В конце года велось строительство 67 новых реакторов, что остается весьма высоким показателем. Ожидается значительный рост использования ядерной энергии во всем мире – между 23% и 100% к 2030 году, хотя нынешние прогнозы МАГАТЭ на 2030 год на 1-9% ниже, чем прогнозы, сделанные в 2011 году. Предполагается, что рост будет происходить преимущественно в странах, в которых уже эксплуатируются АЭС, особенно на Дальнем Востоке, где прогнозируются самые высокие показатели роста.

2. Хотя некоторые страны отложили принятие решений о начале осуществления ядерно-энергетических программ, другие страны продолжали реализацию своих планов по созданию ядерной энергетики. В июле 2012 года Объединенные Арабские Эмираты стали первой страной за 27 лет, которая приступила к строительству своей первой АЭС. Помимо ОАЭ несколько других стран, в том числе Беларусь и Турция, продвинулись в 2012 году вперед в направлении сооружения своей первой АЭС.

3. В Красной книге издания 2011 года «Uranium 2011: Resources, Production and Demand» («Уран-2011: ресурсы, производство и спрос»), выпущенной совместно Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и МАГАТЭ, оценка объема известных традиционных ресурсов урана со стоимостью добычи ниже 130 долл./кг U несколько уменьшилась по сравнению с предыдущим изданием, поскольку произошло значительное увеличение мирового производства урана, главным образом в результате роста производства в Казахстане. На протяжении 2011 года сообщалось об открытии многочисленных новых месторождений урана в Африке. Цены спот на уран, которые в конце 2011 года составляли 135 долл./кг U, упали ко второй половине 2012 года примерно до 110 долл./кг U. В конце 2012 года цены спот на уран возросли примерно до 115 долл./кг U. Вместе с тем долгосрочные цены на уран оставались стабильными на уровне примерно 158 долл./кг U.

4. Вместо диффузионного обогатительного завода «Жорж Бесс» во Франции, закрытого в июне 2012 года, был открыт завод «Жорж Бесс-II». В сентябре 2012 года Комиссия по ядерному регулированию Соединенных Штатов предоставила первую за всю историю лицензию на строительство и эксплуатацию полномасштабной установки по лазерному

обогащению компании "Глобал лазер энричмент", дочерней компании объединения «Дженерал электрик - Хитати нуклеар энерджи».

5. В июле 2012 года Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии завершил строительство комплексной установки по демонстрации пиропроцессинга с использованием нерадиоактивных материалов для пиропроцессинга отработавшего оксидного топлива. В августе начались пуско-наладочные испытания.

6. В области обращения с радиоактивными отходами в Канаде рассматривается вопрос о создании трех пунктов геологического захоронения: пункта на площадке Брус компании "Онтарио пауэр дженерейшн" для НАО и (САО), площадки Чок-Риверских лабораторий, которая может быть использована для НАО и САО, и третьей площадки, место расположения которой пока не определено, для канадского хранилища отработавшего ядерного топлива и центра экспертизы. В Испании в качестве площадки для центрального хранилища испанского отработавшего ядерного топлива был официально выбран Вильяр-де-Каньяс. Кроме того, в декабре финская компания «Посива» подала правительству Финляндии заявку на получение лицензии на строительство пункта захоронения отработавшего топлива на Олкилуото, где окончательное захоронение, как предполагается, начнется в 2020 году.

7. В 2012 году в Иордании началось строительство одного нового исследовательского реактора – многоцелевого реактора мощностью 5 МВт. По состоянию на январь 2013 года в эксплуатации находятся 247 исследовательских реакторов. МАГАТЭ продолжает оказывать содействие глобальным усилиям по минимизации использования топлива на основе высокообогащенного урана (ВОУ) в исследовательских реакторах. В сентябре 2012 года исследовательский реактор "Мария" (Польша) был переведен с топлива на основе высокообогащенного урана (ВОУ) на топливо на основе низкообогащенного урана (НОУ). В марте 2012 года исследовательский реактор TRIGA MARK III в Мексике был переведен с ВОУ на НОУ топливо, и последнее ВОУ топливо было возвращено в США. В декабре 2012 года все ВОУ топливо было вывезено из Австрии после полного перевода венского реактора TRIGA на НОУ топливо. Эти усилия в Австрии и Мексике ознаменовали собой окончательный вывод из гражданских ядерных применений по всему миру всего ВОУ топлива реакторов TRIGA. В рамках Программы по возвращению российского топлива для исследовательских реакторов в 2012 году МАГАТЭ оказало содействие в возвращении почти 110 кг свежего ВОУ топлива из Харьковского физико-технического института, Украина, примерно 20 кг отработавшего ВОУ топлива из Института ядерных исследований в Киеве, почти 100 кг отработавшего ВОУ топлива из Узбекистана и Польши и 27 кг свежего ВОУ топлива из Польши.

8. Ядерные применения, о которых говорится в «Обзоре ядерных технологий», касаются трех областей, представляющих насущный и значительный интерес: использование ядерных технологий для повышения безопасности пищевых продуктов и продовольственной безопасности, новые достижения в борьбе с раком и ядерные технологии для преодоления последствий изменения климата.

9. Повышению безопасности пищевых продуктов и продовольственной безопасности способствует облучение пищевых продуктов, при котором пищевые продукты подвергаются воздействию ионизирующего излучения в контролируемых условиях. На облучательных установках для получения гамма-лучей обычно используются радиоизотопы кобальт-60 или цезий-137. Вместе с тем при расширении применения облучения пищевых продуктов с использованием этих радиоизотопов возникают трудности вследствие сложности закупки, перевозки и получения источников радиоизотопов. В результате растет интерес к электронно-пучковым и рентгеновским технологиям, при которых для получения ионизирующего излучения используется электричество. Эти технологии могут позволить значительно расширить применение облучения пищевых продуктов в целях повышения их безопасности и

способствовать увеличению мировых поставок продовольствия благодаря сокращению его потерь и отходов.

10. Вопрос о безопасности пищевых продуктов вызывает серьезную обеспокоенность после выброса радиоактивности вследствие ядерной аварии. Разрабатывается унифицированная полевая и лабораторная практика применения ядерных методов, для того чтобы в кратчайшие сроки после ядерного события сельскохозяйственные органы могли проводить эффективную и последовательную оценку безопасности пищевых продуктов. Уроки аварий показывают, что необходимо совершенствовать информирование о продовольственных и сельскохозяйственных данных и управление ими, особенно когда затронуты несколько стран и требуется координация принимаемых мер.

11. Одним из эффективных способов лечения раковых заболеваний является лучевая терапия, цель которой – воздействовать на опухоль с помощью точной дозы облучения при минимальном ущербе для окружающих здоровых тканей. Недавние достижения в области фотонной лучевой терапии открывают потенциально значительные возможности по сравнению с традиционной лучевой терапией, включая улучшение распределения дозы, снижение токсичности, повышение оперативности лечения и точности локального контроля, что увеличивает шансы на выздоровление. В последние два десятилетия возрос интерес к терапии заряженными частицами, в частности к протонной терапии и терапии ионами углерода, и активизировалось их развитие. Следующий шаг вперед – использование трехмерной брахитерапии, когда лучевая терапия применяется путем помещения радиоактивных источников рядом с опухолями или внутри них, либо в полостях тела. Использование этих передовых технологий связано с дополнительными значительными расходами, которые необходимо оценивать с учетом потенциальных преимуществ этих технологий по сравнению с традиционными методами.

12. Манипулирование отдельными атомами и молекулами вещества для создания новых материалов, устройств и конструкций называется нанотехнологиями. Одно интересное открытие произошло в области медицины. Отдельные свойства некоторых наноструктур могут способствовать борьбе с раком на основе подходов, не имеющих аналогов в прошлом. В результате появилась новая область – наномедицина, т.е. применение нанотехнологий в медицине. Наносистемы с заданными характеристиками могут использоваться для воздействия на раковые клетки-мишени, доставляя большие дозы радионуклидов в опухолевые клетки, не затрагивая при этом здоровые ткани и тем самым уменьшая побочные эффекты, которыми обычно сопровождаются многие современные методы лечения раковых заболеваний.

13. Ядерные методы играют важную роль в понимании изменения климата, прогнозировании того, как он будет меняться в будущем, и адаптации к его последствиям. В морской среде последствия изменения климата, такие как подкисление океана, оказывают влияние на рыболовство, прибрежную аквакультуру и другие прибрежные ресурсы. Ядерные технологии дают ответы на некоторые базовые научные вопросы о взаимосвязи между экологическим состоянием океана и морскими экосистемами и организмами. Использование радионуклидов и стабильных изотопов помогает лучше понять особенности явления Эль-Ниньо – Южное колебание за период в несколько тысячелетий. Ядерные методы используются также для изучения воздействия подкисления океана на морские экосистемы и биоразнообразие.

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

1. По состоянию на 31 декабря 2012 года во всем мире в эксплуатации находилось 437 ядерных энергетических реакторов суммарной мощностью 372,1 ГВт (эл.)² (см. таблицу А-1). Это немногим больше - примерно на 3,3 ГВт (эл.) - суммарной мощности по сравнению с данными 2011 года. К энергосети были подключены три новых реактора: "Ниндэ-1" (1000 МВт (эл.)) в Китае и "Син-Вольсон-1" (960 МВт (эл.)) и "Син-Кори-2" (960 МВт (эл.)) в Республике Корея. Кроме того, в Канаде были выведены из стояночного режима и вновь подключены к энергосети два энергоблока: «Брус-1» и «Брус-2» (772 МВт (эл.) каждый).

2. Последствия аварии на АЭС "Фукусима-дайти" продолжали проявляться в относительно небольшом числе новых реакторов, строительство которых было начато в 2012 году. Таковых насчитывалось семь: «Фуцин-4», «Шидаовань-1», «Тяньвань-3» и «Янцзян-4» в Китае, «Син-Ульчхин» в Республике Корея, первый энергоблок Балтийской АЭС в Российской Федерации и «Барака-1» в Объединенных Арабских Эмиратах (рис. А-1). Хотя это выше показателя 2011 года, но значительно ниже, чем в 2010 году, когда в результате неуклонного роста с 2003 года был достигнут рекордный показатель – было начато строительство 16 реакторов.



Рис. А-1. Строительство энергоблока «Барака-1» в ОАЭ (фото: ЯЭКЭ).

3. С другой стороны, в 2012 году было официально объявлено об окончательном останове только трех реакторов: «Жантйи-2» в Канаде и «Олдбери-А1» и «Уилфа-2» в Соединенном Королевстве. Они находились в эксплуатации 30 лет, 45 лет и 41 год, соответственно. Это значительно меньше 13 остановленных реакторов в 2011 году.

4. По состоянию на 31 декабря 2012 года велось строительство 67 реакторов, что является весьма высоким показателем (рис. А-2). Как и в предыдущие годы, расширение мощностей, а также развитие ядерной энергетики в кратко- и долгосрочной перспективе будут по-прежнему происходить главным образом в Азии (см. таблицу А-1), прежде всего в Китае. Из общего числа строящихся реакторов не менее 47 находятся в Азии, и там же находятся 38 из 48 новых реакторов, подключенных в последнее время к энергосети.

² 1 ГВт (эл.) равен одному миллиарду ватт электрической мощности.



РИС. А-2. Строительство энергоблока «Син-Кори-3» в Республике Корея.

5. В 2012 году в США впервые за последние 30 лет были выданы лицензии на строительство и эксплуатацию четырех блоков AP1000 на атомных электростанциях "Вогтле" и "В.К. Саммер".

6. Во всем мире сохраняется интерес к долгосрочной эксплуатации существующих станций. В мае 2012 года Агентство организовало в Солт-Лейк-Сити, штат Юта, США, при поддержке министерства энергетики США и Комиссии по ядерному регулированию (КЯР) третью Международную конференцию по вопросам управления жизненным циклом АЭС (УЖЦС). В Конференции приняли участие свыше 350 представителей 38 государств-членов и 3 международных организаций, которые обсудили последствия аварии на АЭС «Фукусима-дайити» для УЖЦС и долгосрочной эксплуатации.

7. В 2012 году во многих странах сохранялась тенденция повышения мощности и возобновления или продления сроков действия лицензий действующих реакторов. Во Франции Французское управление по ядерной безопасности продлило на 10 лет срок действия лицензии на эксплуатацию второго энергоблока АЭС "Бюже" после истечения 30-летнего срока эксплуатации; этот блок стал третьим во Франции реактором, в отношении которого выдано такое разрешение. В Соединенном Королевстве Управлению по снятию с эксплуатации ядерных объектов было разрешено продлить эксплуатацию первого энергоблока АЭС «Уилфа» до сентября 2014 года, передав ему частично отработавшее топливо со второго энергоблока. В США КЯР продлила действие лицензий на эксплуатацию энергоблоков АЭС "Пилгрим" и "Коламбия" еще на 20 лет, в результате чего общее число утвержденных с 2000 года продлений действия лицензий достигло 73. Кроме того, на стадии рассмотрения находятся заявки на продление действия 13 лицензий. Наконец, в 2012 году КЯР было утверждено 6 заявок на повышение мощности, а 16 таких заявок находятся в настоящее время на стадии рассмотрения.

8. Два реактора были временно остановлены ввиду последствий старения. Во время запланированного останова третьего энергоблока АЭС «Дул» в Бельгии с помощью ультразвукового оборудования было проведено обследование на предмет обнаружения трещин под оболочкой корпуса реактора. В ходе проверок не было выявлено дефектов корпуса, но было обнаружено большое число практически ламинарных предполагаемых повреждений главным образом в кожухе нижней и верхней части активной зоны. Похожие, но менее значительные предполагаемые повреждения были выявлены во время проведенной в сентябре аналогичной проверки второго энергоблока АЭС «Тяньж». В результате энергоблоки «Дул-3» и «Тяньж-2» оставались в конце года в состоянии холодного останова, в то время как энергопредприятие проводило инженерно-техническую оценку для определения возможности безопасного возобновления эксплуатации.

9. В Бельгии ввиду необычно большого числа предполагаемых повреждений, обнаруженных на энергоблоках "Дул-3" и "Тианж-2", Федеральное агентство по ядерному контролю образовало группу международных экспертов в области технологии корпусов реактора, неразрушающих испытаний, механики разрушения, оценки на основе кода ASME XI, детерминированной оценки безопасности и вероятностного анализа безопасности.

10. В Японии в июле 2012 года была возобновлена эксплуатация третьего и четвертого энергоблоков АЭС «Охи», которые стали первыми двумя энергоблоками, начавшими вновь работать после аварии на АЭС "Фукусима-дайти" в марте 2011 года. На протяжении всего года велась дискуссия вокруг будущего ядерной энергетики в Японии. После победы Либерально-демократической партии на национальных выборах в декабре новый премьер-министр Синдзо Абэ заявил, что правительство в предстоящие годы проанализирует структуру энергопроизводства страны и пересмотрит политику в области ядерной энергетики, провозглашенную предыдущим правительством.

11. Ядерная энергетика остается одним из важных возможных средств повышения производства электроэнергии для стран с растущими потребностями в энергии, и в 2012 году странами, планирующими создание ядерной энергетики, были предприняты важные шаги. 18 июля 2012 года Объединенные Арабские Эмираты стали первой страной за 27 лет, начавшей строительство первой АЭС, в этот день Ядерно-энергетическая корпорация Эмиратов (ЯЭКЭ) приступила к заливке первого бетона после выдачи Федеральным управлением по ядерному регулированию лицензии на строительство. Планируется, что в 2017 году будет введен в эксплуатацию первый энергоблок АЭС «Барака», а в 2020 году – еще три блока.

12. Практические шаги по строительству своей первой АЭС предприняли в 2012 году несколько других стран. В июне 2012 года Беларусь посетила миссия по комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (ИНИР), которая пришла к выводу, что страна продолжает успешную подготовку к реализации ядерно-энергетической программы. В июле 2012 года Беларусь подписала контракт с компанией Российской Федерации "Атомстройэкспорт" на выполнение работ на площадке и сооружение двух водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР). Турция также продвигается вперед в реализации своей программы, подписав в 2010 году контракт на строительство четырех энергоблоков ВВЭР-1200 на площадке Аккую. Она заявила также на Генеральной конференции в 2012 году, что планирует построить вторую АЭС на площадке Синоп и ведет переговоры с компаниями-поставщиками. Свое намерение продолжить разработку национальной ядерно-энергетической программы подтвердили и другие страны: они продолжали создавать инфраструктуру и рассматривали возможные варианты заключения контрактов. Ряд других государств-членов ведут активную подготовку к разработке ядерно-энергетической программы, но еще не приняли окончательного решения в отношении того, приступать ли к ее реализации.

13. Помимо Беларуси в 2012 году было организовано еще две миссии ИНИР: в Иорданию и во Вьетнам. Миссия в Иорданию, состоявшаяся в январе, представляла собой последующую миссию по рассмотрению плана действий страны, подготовленного во исполнение рекомендаций первой миссии ИНИР, состоявшейся в августе 2009 года. Отмечалось, что с 2009 года в Иордании был достигнут прогресс, особенно в деятельности, связанной с проектом сооружения АЭС. В декабре успешно проведена миссия ИНИР во Вьетнам.

14. Миссии ИНИР Агентства – одна из составляющих комплекса мер по оказанию содействия в обеспечении устойчивого энергетического развития. Помимо миссий ИНИР Агентство помогает заинтересованным государствам-членам расширять возможности в области анализа и планирования своих национальных энергетических систем, а странам, осуществляющим или планирующим реализацию ядерно-энергетических программ, –

возможности в области долгосрочного стратегического планирования своих ядерных энергосистем. В 2012 году разработанный Агентством инструментарий для анализа и планирования национальных энергетических систем использовался более чем в 125 государствах-членах. Обучение использованию этого инструментария прошли более 650 специалистов по энергетическому анализу и планированию из 69 стран. Что касается долгосрочного стратегического планирования ядерно-энергетических систем, то в рамках Международного проекта Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) разрабатывается методология, другой инструментарий, ведется обучение и предоставляется помощь в области проведения оценок ядерно-энергетических систем (ОЯЭС). В 2011-2012 годах проведение ОЯЭС продолжалось или было начато в Беларуси, Индонезии, Казахстане и Украине.

15. Агентство оптимизирует свою помощь в области подготовки кадров благодаря сотрудничеству с национальными центрами во всем мире. В июле оно подписало практическую договоренность с Международной ядерной магистратурой (МЯМ) Корейской электроэнергетической корпорации. Задача МЯМ – содействовать доступу иностранных студентов и работников к корейской системе обучения и подготовки кадров в области мирного использования ядерной энергии. Практическая договоренность закладывает фундамент для сотрудничества в международном наборе студентов, разработке учебного курса, организации семинаров и осуществлении программы информирования. В октябре 2011 года Агентство подписало практическую договоренность с Управлением по атомной энергии Китая о сотрудничестве в области безопасного строительства АЭС. Договоренность предусматривает активизацию взаимодействия Агентства и Международного строительного учебного центра Китая в целях обеспечения безопасного строительства новых АЭС.

16. Из общего числа находящихся в эксплуатации коммерческих реакторов приблизительно 82% – это реакторы с легководным замедлителем и легководным теплоносителем; 11% – это реакторы с тяжеловодным замедлителем и тяжеловодным теплоносителем; 3% – это газоохлаждаемые реакторы и 3% - это водоохлаждаемые реакторы с графитовым замедлителем (рис. А-3). Имеется два реактора с жидкометаллическим замедлителем и жидкометаллическим теплоносителем.



РИС. А-3. Распределение реакторов по типам в настоящее время. (BWR – кипящий реактор; FR – быстрый реактор; GCR – газоохлаждаемый реактор; LWGR – легководный реактор с графитовым замедлителем; PHWR – корпусной тяжеловодный реактор; PWR – реактор с водой под давлением).

17. Хотя исторически в ядерной отрасли стремились к обеспечению экономии за счет масштабов производства, в настоящее время растет интерес к реакторам малой и средней мощности (PMCM), отчасти вследствие того, что они требуют меньших капиталовложений, причем позволяют осуществлять более гибкие, поэтапные инвестиции. "Малой" называется мощность менее 300 МВт (эл.). "Средняя" – это мощность от 300 МВт (эл.) до 700 МВт (эл.). На той или иной стадии НИОКР находятся сегодня примерно 45 инновационных концепций PMCM. Некоторые из них описываются в нижеследующих пунктах.

18. В Аргентине проектируется реактор CAREM-25 – маломощный LWR интегрального типа с водой под давлением, в котором все основные компоненты находятся внутри реакторного корпуса, и электрической мощностью 150-300 МВт (эл.). В сентябре 2011 года начались земляные работы на площадке для размещения прототипной установки CAREM мощностью 27 МВт (эл.).

19. В КНР Национальная ядерная корпорация Китая (НЯКК) разрабатывает модель ACP100 – интегрированный модульный усовершенствованный реактор малой мощности с водой под давлением мощностью 100 МВт (эл.), который также может использоваться для выработки тепла и опреснения морской воды. Она также разрабатывает модель ACP600 – двухконтурный усовершенствованный реактор с водой под давлением мощностью 600 МВт (эл.), который пригоден для работы в энергосетях небольшой мощности.

20. Во Франции компания ДКНС (DCNS) проектирует Flexblue – маломощную модульную установку мощностью 160 МВт (эл.). Этот водоохлаждаемый реактор будет расположен на дне моря и будет работать с использованием морских, наземных и пассивных ядерных технологий, с тем чтобы задействовать преимущества нахождения под водой, являющейся бесконечным и постоянно доступным поглотителем тепла.

21. В Японии проектируется LWR мощностью 350 МВт (эл.) с первичным контуром интегрального типа под названием интегрированный модульный реактор (IMR). До лицензирования необходимо провести контрольные испытания компонентов и методов проектирования, соответствующие НИОКР и подготовить базовый проект. В Японии ведется также проектирование 4S, быстрого реактора с жидконатриевым теплоносителем, не предполагающим перегрузку топлива на площадке. В проекте предусмотрены два альтернативных варианта мощности: 30 МВт (тепл.) и 135 МВт (тепл.).

22. Спроектированный в Республике Корея системно-интегрированный модульный усовершенствованный реактор (SMART) имеет тепловую мощность 330 МВт (тепл.) и предназначен для опреснения морской воды. В 2012 году национальная Комиссия по ядерной безопасности утвердила стандартную конструкцию SMART.

23. В Российской Федерации в стадии строительства находятся два размещаемых на барже реактора КЛТ-40С мощностью 35 МВт (эл.), которые будут использоваться для комбинированного производства электроэнергии и технологического тепла. Реактор КЛТ-40С создан на базе серийно производимой судовой двигательной установки КЛТ-40 и представляет собой усовершенствованную конструкцию реактора, на котором работают атомные ледоколы. На стадии детального проектирования находится установка АБВ-6М мощностью 8,6 МВт (эл.). Она представляет собой легководный реактор с водой под давлением интегрального типа с естественной циркуляцией теплоносителя первого контура. Установка РИТМ-200 мощностью 8,6 МВт (эл.), которая находится сегодня на стадии детального проектирования, – это реактор интегрального типа с принудительной циркуляцией для атомных ледоколов. Российская Федерация планирует также построить в 2013 году несколько реакторов СВБР-100. СВБР-100 – это инновационный компактный модульный быстрый реактор мощностью 100 МВт (эл.) с теплоносителем из эвтектического сплава свинца и висмута (СВТ).

24. В США сегодня проектируются четыре РМСМ интегрального типа с водой под давлением: mPower, NuScale, РМСМ компании "Вестингауз" и SMR-160 компании «Холтек». Установка mPower состоит из 2-6 модулей мощностью 180 МВт (эл.) каждый. Проект NuScale Power предусматривает строительство АЭС, насчитывающей до двенадцати модулей по 45 МВт (эл.). РМСМ компании «Вестингауз» – это концептуальный проект реактора мощностью 225 МВт (эл.), в котором предусмотрены пассивные системы безопасности и компоненты, прошедшие апробирование на AP-1000. Кроме того, началась разработка более современной конструкции РМСМ – SMR-160 компании «Холтек» – который представляет собой реактор мощностью 160 МВт (эл.) с естественной конвекцией, что избавляет от необходимости использования циркуляционных насосов, а также внешних источников энергоснабжения. Компания «Дженерал электрик – Хитати» ведет разработку PRISM, быстрого реактора-размножителя с жидкометаллическим теплоносителем мощностью 311 МВт (эл.), особенностью которого являются подземный контейнмент с амортизаторами сейсмических колебаний и пассивный воздухоохлаждаемый конечный поглотитель тепла.

25. В Индии в Центре атомных исследований им. Бхабхи (ЦАИБ) на стадии детального проектирования находится разработка усовершенствованного тяжеловодного реактора (АНWR) мощностью 304 МВт (эл.). В нем будет использоваться НОУ и ториевое смешанное оксидное (МОХ) топливо и предусмотрены вертикальные напорные каналы и пассивные инженерно-технические средства безопасности. На заключительной стадии находится строительство прототипа быстрого реактора-размножителя мощностью 500 МВт (эл.) (PFBR-500) в Калпаккаме. Ввод в эксплуатацию запланирован на первый квартал 2013 года. В Индии имеется также четыре реактора РНWR мощностью 700 МВт (эл.) и ведется строительство одного реактора FBR мощностью 500 МВт (эл.).

26. Хотя производство электроэнергии – это, безусловно, главная функция находящихся сегодня в эксплуатации реакторов, ряд из них используются в настоящее время также для опреснения морской воды, выработки технологического тепла и централизованного теплоснабжения (рис. А-4). Дополнительные возможные будущие виды применения реакторов, не связанные с производством электроэнергии, включают производство водорода: во-первых, для повышения качества низкокачественных нефтяных ресурсов, таких как нефтяной песок, с нейтрализацией при этом выбросов углерода, связанных с паровым риформингом метана; во-вторых, для обеспечения крупномасштабного производства синтетических видов жидкого топлива на основе биомассы, угля или других источников углерода; в-третьих, для непосредственного использования в качестве топлива транспортных средств, прежде всего в целях подключения к электросети в облегченном режиме транспортных средств на гибридных водородных топливных элементах.

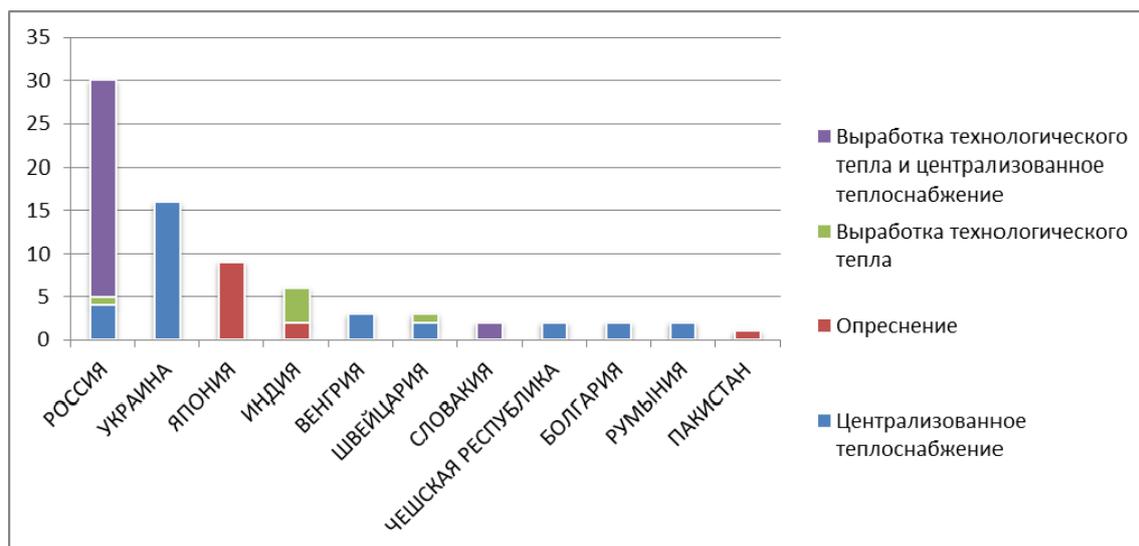


РИС. А-4. Число реакторов, которые в настоящее время используются для производства электроэнергии и в иных целях.

Таблица А-1. Действующие и сооружаемые ядерные энергетические реакторы в мире
(по состоянию на 31 декабря 2012 года)^а

Страна	Действующие реакторы		Сооружаемые реакторы		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2012 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2012 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема	Годы	Месяцы
Аргентина	2	935	1	692	5,9	4,7	68	7
Армения	1	375			2,1	26,6	38	4
Бельгия	7	5 927			38,5	51,0	254	7
Болгария	2	1 906			14,9	31,6	153	3
Бразилия	2	1 884	1	1 245	15,2	3,1	43	3
Венгрия	4	1 889			14,8	45,9	110	2
Германия	9	12 068			94,1	16,1	790	2
Индия	20	4 391	7	4 824	29,7	3,6	377	3
Иран, Исламская Республика	1	915			1,3	0,6	1	4
Испания	8	7 560			58,7	20,5	293	6
Канада	19	13 500			89,1	15,3	634	5
Китай	17	12 860	29	28 844	92,7	2,0	141	7
Корея, Республика	23	20 739	4	4 980	143,5	30,4	404	1
Мексика	2	1 530			8,4	4,7	41	11
Нидерланды	1	482			3,7	4,4	68	0
Объединенные Арабские Эмираты			1	1345				
Пакистан	3	725	2	630	5,3	5,3	55	8
Российская Федерация	33	23 643	11	9 297	166,3	17,8	1091	4
Румыния	2	1 300			10,6	19,4	21	11
Словакия	4	1 816	2	880	14,4	53,8	144	7
Словения	1	688			5,2	36,0	31	3
Соединенное Королевство	16	9 231			64,0	18,1	1511	8
Соединенные Штаты Америки	104	102 136	1	1 165	770,7	19,0	3834	8
Украина	15	13 107	2	1900	84,9	46,2	413	6
Финляндия	4	2 752	1	1 600	22,1	32,6	135	4
Франция	58	63 130	1	1 600	407,4	74,8	1874	4
Чешская Республика	6	3 804			28,6	35,3	128	10
Швейцария	5	3 278			24,4	35,9	189	11
Швеция	10	9 395			61,5	38,1	402	6
Южная Африка	2	1 860			12,4	5,1	56	3
Япония	50	44 215	2	2 650	17,2	2,1	1596	4
Всего^{b, c}	437	372 069	67	64 252	2 346,2		15 246	9

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

б. Примечание: суммарные показатели включают 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 40,4 ТВт·час электроэнергии, что составляет 19,0% 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 (188 лет, 1 месяц).

А.2. Будущее ядерной энергетики

27. Предполагается, что авария на АЭС "Фукусима-дайти" замедлит или задержит развитие ядерной энергетики, но не обратит его вспять. Ежегодно Агентство публикует два обновленных прогноза глобального развития ядерной энергетики: низкий и высокий прогнозы. Согласно обновленным данным 2012 года мощность АЭС возрастет к 2030 году на 23% по низкому прогнозу и на 100% по высокому прогнозу. Вместе с тем темпы роста ниже, чем они прогнозировались в 2011 году, особенно по низкому прогнозу.

28. Согласно высокому прогнозу предполагается, что нынешний финансово-экономический кризис будет преодолен относительно скоро и что показатели экономического роста и спроса на электроэнергию восстановятся, особенно на Дальнем Востоке. При этом также предполагается принятие жесткой мировой политики, направленной на смягчение последствий изменения климата. Согласно низкому прогнозу предполагается сохранение нынешних тенденций с небольшими изменениями в политике, влияющими на ядерную энергетику. При этом не предполагается, что все национальные плановые показатели развития ядерной энергетики будут достигнуты. Это – «консервативный, но вероятный» сценарий. Прогнозы делаются на региональном, а не на национальном уровне. В низком прогнозе 2012 года учитывается возможное падение доли ядерной энергетики в структуре производства электроэнергии Японии.

29. По низкому прогнозу установленная мощность АЭС в мире возрастет до 456 ГВт (эл.) в 2030 году, что ниже на 9% по сравнению с прогнозом предыдущего года. По обновленному высокому прогнозу эта мощность возрастает до 740 ГВт (эл.) в 2030 году, что на 1% ниже прогноза 2011 года. По сравнению с предыдущими прогнозами, в которых не учитывалась авария на АЭС «Фукусима-дайти», показатель роста по низкому прогнозу уменьшился на 16%, а по высокому не столь значительно – на 8%. По низкому прогнозу предполагаемый рост задерживается на 10 лет по сравнению с прогнозами, которые делались до фукусимской аварии: мощность, которая прогнозировалась до аварии на 2020 год, теперь прогнозируется на 2030 год.

30. Рост будет происходить преимущественно в тех регионах, где уже эксплуатируются АЭС. Самые высокие прогнозируемые показатели роста на Дальнем Востоке: к 2030 году мощность АЭС возрастет с 83 ГВт (эл.) на конец 2012 года до 153 ГВт (эл.) по низкому прогнозу и до 274 ГВт (эл.) по высокому прогнозу. В Западной Европе предполагается наибольшее расхождение между низким и высоким прогнозами. По низкому прогнозу мощность АЭС в Западной Европе снизится со 114 ГВт (эл.) на конец 2012 года до 70 ГВт (эл.) в 2030 году. А по высокому прогнозу мощность АЭС возрастет до 126 ГВт (эл.). В Северной Америке по низкому прогнозу произойдет небольшое снижение мощности АЭС – со 115 ГВт (эл.) на конец 2012 года до 111 ГВт (эл.) в 2030 году. А по высокому прогнозу она возрастет до 148 ГВт (эл.).

31. Другими регионами, в которых реализуются масштабные ядерно-энергетические программы, являются Восточная Европа и Средний Восток и Южная Азия. Мощность АЭС в этих регионах растет как по низкому, так и по высокому прогнозам до уровня на 2-4 ГВт (эл.) ниже того, который прогнозировался до аварии.

Ядерная энергетика и устойчивое развитие

32. Энергия играет важную роль в достижении целей устойчивого развития. От выбора в отношении использования топлива и энергетических технологий, который будет сделан странами в предстоящие годы, во многом зависит, как быстро мир сможет обеспечить устойчивое будущее. В июне 2012 года в Рио-де-Жанейро, Бразилия, состоялась крупная международная конференция – Конференция Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию (ее обычно называют также "Рио+20") – для того, чтобы проанализировать прогресс, достигнутый в области устойчивого развития после Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (Встречи на высшем уровне «Планета Земля»), которая состоялась в 1992 году, и наметить направление будущих действий на национальном, региональном и глобальном уровне. В итоговом документе «Рио+20» «Будущее, которого мы хотим» подробно описывается направление развития, охватывающее целый спектр отдельных и совместных задач, и рассматриваются несколько приоритетных вопросов, в том числе о предоставлении доступа к чистой энергии для всех и об обеспечении того, чтобы производство энергии не способствовало изменению климата.

33. В ноябре-декабре 2012 года в Дохе, Катар, состоялась 18-я сессия Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (КС-18), а также 8-я сессия Конференции сторон Киотского протокола. Стороны Киотского протокола договорились о втором периоде обязательств с 2013 года по 2020 год. Без таких обязательств мир оказался бы без международного соглашения, ограничивающего выбросы парниковых газов (ПГ), а без ограничений выбросов ПГ очень низкие выбросы в ядерной энергетике не имеют экономического выгодного значения. Национальные или региональные законы, ограничивающие выбросы (как в ЕС), продолжали бы действовать, но движение в направлении более строгих, более всеобъемлющих ограничений было бы обращено вспять.

34. Разработка соответствующих национальных энергетических стратегий с учетом потребностей в области развития и необходимости предоставления современных энергетических услуг для всех становится все более сложным делом вследствие увеличения числа факторов, оказывающих влияние на выбор направления развития энергетике. Во-первых, необходимо провести комплексную оценку всех возможных вариантов предложения энергии и спроса на нее с точки зрения социальных, экономических и экологических последствий. Во многих государствах-членах, особенно развивающихся, отсутствуют местный экспертный потенциал и опыт для выполнения подобной задачи, и Агентство оказывает техническое содействие, чтобы помочь создать такой потенциал и восполнить нехватку специалистов. Во-вторых, низкоуглеродные источники энергии, такие как ядерная энергия, сводят к минимуму выбросы парниковых газов при производстве энергии и смягчают отрицательные последствия климатических катаклизмов.

35. При анализе перспектив развития своей энергетике значительное число стран в качестве одного из возможных направлений рассматривают ядерную энергетике. Среди факторов, способствующих сохранению интереса к ядерной энергетике, – увеличение мирового спроса на энергоносители, а также озабоченность по поводу изменения климата, нестабильности цен на органическое топливо и безопасности энергообеспечения.

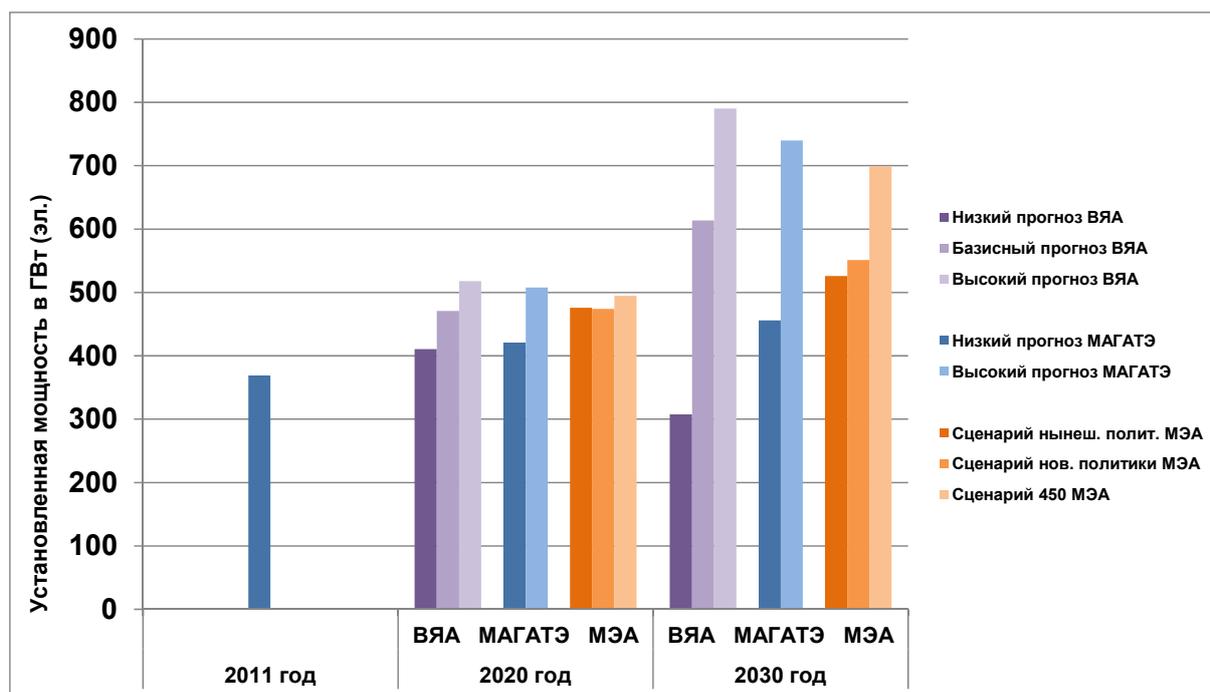


РИС. А-5. Сравнение ядерно-энергетических прогнозов, сделанных МАГАТЭ (синий цвет), в подготовленном Всемирной ядерной ассоциацией в 2011 году докладе «The Global Nuclear Fuel Market» («Мировой рынок ядерного топлива») (ВЯА; фиолетовый цвет) и в документе Международного энергетического агентства «World Energy Outlook 2012» («Обзор мировой энергетики – 2012») (МЭА; оранжевый цвет).

36. Международное энергетическое агентство (МЭА) Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) также публикует прогнозы мирового развития ядерной энергетики. Согласно центральному сценарию документа МЭА «World Energy Outlook 2012» («Обзор мировой энергетики – 2012»), называемому «сценарий новой политики», мощность АЭС в мире достигнет в 2030 году 550 ГВт (эл.). Это примерно на 7% меньше прогноза МЭА, опубликованного год назад, и сопоставимо с уменьшением низкого прогноза МАГАТЭ по сравнению с его предыдущим изданием. На рисунке А-5 сравниваются прогнозы Агентства 2012 года, сценарии МЭА 2012 года и прогнозы Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА) 2011 года. В высоких сценариях трех организаций результаты похожи, равно как и в низких сценариях МАГАТЭ и МЭА.

А.3. Топливный цикл³

А.3.1. Ресурсы и производство урана

37. В 2012 году Агентство и АЯЭ/ОЭСР опубликовали последнее издание Красной книги «Uranium 2011: Resources, Production and Demand» («Уран-2011: ресурсы, производство и спрос»). В ней общий объем известных традиционных ресурсов урана со стоимостью добычи ниже 130 долл./кг U оценивается в 5,3 млн тонн урана (Мт U). Это на 1,4% меньше оценки объема, приведенной в предыдущем издании (опубликованном в 2010 году). Кроме того, согласно оценкам, имеется 1,8 Мт U известных традиционных ресурсов со стоимостью добычи

³ 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/Anrep2012>) и на веб-сайте www.iaea.org/NuclearFuelCycleAndWaste.

от 130 до 260 долл./кг U, и суммарный объем известных традиционных ресурсов со стоимостью добычи ниже 260 долл./кг U составляет 7,1 Мт U. Цена спот на уран после достижения в начале 2011 года максимального за два года значения упала после аварии на АЭС «Фукусима-дайти», составив на конец года 135 долл./кг U. Из-за неопределенности в отношении ядерной программы Японии ко второй половине 2012 года цены спот упали примерно до 110 долл./кг U, но в конце года составили примерно 115 долл./кг U. Вместе с тем долгосрочные цены на уран оставались стабильными на уровне примерно 158 долл./кг U.

38. Совокупный объем необнаруженных ресурсов (прогнозируемых и умозрительных), о котором сообщается в Красной книге, составил свыше 10,43 Мт U, что несколько больше 10,40 Мт U, о которых сообщалось в предыдущем издании книги. Объем необнаруженных традиционных ресурсов, по оценкам, составляет более 6,2 Мт U со стоимостью добычи ниже 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.

39. В 2011 году было сообщено о дополнительных ресурсах, обнаруженных при исследовании целого ряда 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. Ведется подготовка технико-экономического обоснования для проекта «Мкужу-Ривер» в Объединенной Республике Танзания. В качестве одного из шагов в направлении разработки месторождения урана «Мкужу-Ривер» Комитет всемирного наследия ЮНЕСКО одобрил изменение границы национального парка Селус в Танзании. Однако компании «Юраниум Уан» еще предстоит подать заявку на получение лицензии на ведение горных работ на потенциальном руднике. Сообщения об обнаружении дополнительных или новых ресурсов в 2012 году поступали также из Гайаны, Колумбии, Парагвая, Перу и Швеции.

40. Ресурсную базу дополняют нетрадиционные ресурсы урана и тория. К нетрадиционным ресурсам относится уран, потенциально извлекаемый из фосфатов, руд цветных металлов, карбонатитов, черных сланцев и лигнитов – ресурсов, из которых уран может быть извлечен как побочный продукт лишь в незначительных количествах, а также уран из морской воды. В настоящее время о наличии нетрадиционных ресурсов урана сообщают лишь немногие страны. Согласно нынешним оценкам запасы потенциально извлекаемого урана составляют порядка 8 Мт U. Компания «Юраниум Эквитииз» объявила о том, что в июне 2012 года начались испытания на ее портативной демонстрационной установке по восстановлению урана из фосфорной кислоты методом ионного обмена (технологический процесс «PhosEnergy»). В сентябре 2012 года было объявлено, что проведение испытаний было успешным, и в ходе этого процесса достигается извлечение свыше 90% урана. Было начато техническое обоснование технологического процесса «PhosEnergy».

41. В марте 2012 года правительство Финляндии предоставило лицензию на извлечение урана как побочного продукта на никелевом руднике «Талвиваара» в Соткамо, Восточная Финляндия, эксплуатацией которого занимается компания «Талвиваара Майнинг» (рис. А-6). Для начала производства урана еще предстоит получить экологическое разрешение от Регионального агентства государственного управления Северной Финляндии и разрешение на начало работ от Управления радиационной и ядерной безопасности. Корпорация «Камеко» оказывает техническую помощь «Талвиваара» в проектных, строительных работах, а также работах по вводу в эксплуатацию и эксплуатации, связанных с технологической схемой извлечения урана. Нетрадиционные ресурсы составляют 22 000 т U.



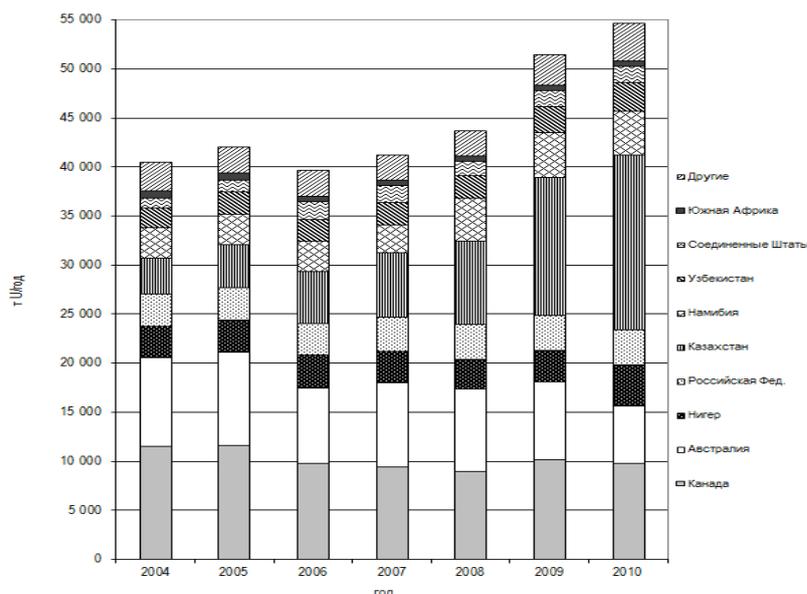
РИС. А-6. Урановый проект «Талвиваара», Финляндия.

42. Мировые ресурсы тория оцениваются примерно в 6-7 миллионов тонн. Хотя торий используется в качестве топлива на демонстрационной основе, прежде чем его можно будет рассматривать в качестве альтернативы урану, требуется еще значительная дальнейшая работа. В Канаде компания «Канду энерджи» подписала в августе 2012 года соглашение с тремя дочерними предприятиями Национальной ядерной корпорации Китая (НЯКК) о расширении сотрудничества в развитии использования тория и рециклированного урана в качестве альтернативного топлива в новых реакторах CANDU. Это соглашение ознаменовало третий этап сотрудничества между Канадой и Китаем, которое началось в 2008 году.

43. Ведутся широкие исследования морской воды в качестве нетрадиционного источника урана. Окриджская национальная лаборатория в США сообщила о разработке новых адсорбентных материалов. Фибролитовые плиты большой емкости с высокой удельной поверхностью подвергаются облучению, а затем вступают в реакцию с химическими соединениями, имеющими сродство к урану. Фибролит обладает в пять раз более высокой адсорбционной емкостью, более быстрой абсорбцией и более высокой селективностью. Ученые Университета Алабамы проводят эксперименты с использованием фибролита на основе хитина – биополимера с длинноцепными молекулами, который можно получать из панциря креветок.

44. В Красной книге представлены данные об общемировых расходах на разведку и разработку месторождений по 2010 год включительно. Они составили в 2010 году в общей сложности 2,076 млрд. долл., увеличившись на 22% по сравнению с данными за 2008 год, приведенными в предыдущем издании Красной книги.

45. Объем производства урана в 2010 году, т.е. в последнем году, информация о котором представлена в Красной книге, составил 54 670 т U (рис. А-7). 62% этого объема приходится на Австралию, Казахстан и Канаду. На эти три страны, а также на Намибию, Нигер, Российскую Федерацию, США и Узбекистан приходится 92% производства. По оценкам ВЯА, производство составило 54 610 т U в 2011 году и 52 222 т U в 2012 году.



Примечание: объемы по Индии, Намибии, Пакистану и Румынии являются оценочными.

РИС. А-7. Последние данные о мировом производстве урана (Источник: "Uranium 2011: Resources, Production and Demand").

46. В 2009 году метод подземного выщелачивания (ПВ)⁴ был более распространенным по сравнению с подземной добычей в качестве главного производственного метода и, как ожидается, доля производства с помощью ПВ в общемировой добыче будет в будущем продолжать возрастать. В 2012 году отмечалось увеличение объемов добычи на нескольких рудниках ПВ в Казахстане, благодаря которым производство в этой стране возросло примерно на 2 250 т U в год.

47. Начало производства в последние годы отмечалось лишь на нескольких урановых рудниках (например, в Австралии в 2011 году и в Нигере в 2010 году). С 2010 года ведется строительство центра добычи урана методом ПВ в Хиагде, Российская Федерация. Была модернизирована железнодорожная инфраструктура и были смонтированы новое здание корпуса переработки и сернокислотный цех. К 2018 году производственная мощность центра должна составить 1 800 т U в год. В Намибии в 2012 году было завершено расширение третьей очереди рудника "Лангер-Хайрих" компании "Паладин" с целью увеличения годового производства до 2000 т U. После расширения четвертой очереди годовое производство еще более возрастет – до 3900 т U. Ввиду существующих в настоящее время на рынке условий компания "Арева" приостановила работы по обустройству рудника "Треккопье" в Намибии.

48. В Австралии в октябре 2012 года правительством штата Квинсленд был отменен запрет на добычу урана в Квинсленде, который действовал с 1982 года, когда прекратилось производство на руднике «Мэри-Катлин». В штате Южная Австралия компания «Квазар ресорсиз» объявила о планах начать в 2013 году операции по добыче урана методом ПВ на месторождениях «Фор-Майл Ист» и «Фор-Майл Вест». В августе 2012 года компания

⁴ Традиционный, или подземный, метод добычи предусматривает выемку руды из недр с ее последующей обработкой для извлечения требующихся полезных ископаемых. При ПВ руда остается на месте в недрах, и выемка полезных ископаемых осуществляется путем их растворения в выщелачивающем растворе и перекачки 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.

«Би-эйч-пи Биллитон» объявила о том, что для улучшения экономических показателей проекта она изучит альтернативный, менее капиталоемкий вариант проекта расширения открытого карьера «Олимпик-Дэм». В результате компания не смогла утвердить расширение «Олимпик-Дэм» до истечения срока действия разрешительных документов – 15 декабря 2012 года. В штате Западная Австралия компания «Торо энерджи» получила окончательное экологическое разрешение правительства штата на начало работ на урановом руднике «Вилуна».

49. В Канаде в августе 2012 года компания "Арева ресорсиз" получила экологическое разрешение на начало работ по проекту разработки месторождения «Мидвест». Этот проект предусматривает открытый способ разработки на карьере, строительство специальной карьерной дороги между разрабатываемым месторождением "Мидвест" и существующим производством на ГОК "МакКлин Лейк", а также увеличение производственных мощностей горно-обогатительной установки "Джеб" на ГОК "МакКлин Лейк" с учетом планируемых темпов обогащения руды с месторождения "Мидвест".

50. В Вайоминге, США, в августе 2012 года корпорация "Уранерз энерджи" начала строительные работы на месторождении «Николс-Рэнч», где будут вестись добыча методом ПВ. В ноябре 2012 года "Уранерз" объявила, что она получила все разрешения регулирующих органов и лицензии, необходимые для строительных и эксплуатационных работ на руднике «Николс-Рэнч». В октябре 2012 года компанией «Ур-энерджи» было получено окончательное разрешение регулирующего органа на разработку уранового месторождения в рамках проекта "Лост-Крик". Кроме того, корпорация "Ураниум энерджи" получила все разрешения, необходимые для начала работ по своему ПВ-проекту «Голиад» на юге Техаса. Однако для начала деятельности по извлечению урана должно быть предоставлено исключение в отношении водоносных горизонтов⁵.

51. По оценкам, производство урана в 2012 году примерно лишь на 77% покрывало оценочное потребление урана реакторами, составлявшее 67 990 т U⁶. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: военных запасов природного урана; запасов обогащенного урана; урана, переработанного из отработавшего топлива; смешанного оксидного (MOX) топлива, в котором уран-235 частично замещен плутонием из переработанного отработавшего топлива; повторного обогащения хвостов обедненного урана. Исходя из оценочных темпов потребления в 2012 году, срок эксплуатации ресурсов объемом 5,3 Мт U составляет 78 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.

А.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива

52. Шесть стран (Канада, Китай, Российская Федерация, Соединенное Королевство, США и Франция) эксплуатируют промышленные установки по конверсии закиси-оксида урана (U₃O₈) в гексафторид урана (UF₆), и небольшие установки по конверсии эксплуатируются в Аргентине, Бразилии, Исламской Республике Иран, Пакистане и Японии. Сухая технология отгонки

⁵ Важной составляющей федерального Закона США о безопасности питьевой воды являются юридические полномочия, позволяющие вести ПВ-разработку минеральных ресурсов на участках геологических пластов, которые задействованы также для снабжения питьевой водой. Прежде чем начнутся работы по извлечению методом ПВ, Управление по охране окружающей среды США должно предоставить исключение в отношении водоносных горизонтов для каждого рудника.

⁶ World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, April 2012 (<http://worldnuclear.org/info/reactors0412.html>) По состоянию на 7 мая 2012 года.

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 76 000 тонн природного урана (т U по UF_6) в год. Однако ожидаются существенные изменения, поскольку строятся новые установки во Франции (установка "Комюрекс II" компании "Арева" (рис. А-8)) и США (завод "Метрополис уоркс" фирмы "Ханиуэлл"). Суммарный спрос в настоящее время на конверсионные услуги (если предположить, что концентрация урана-235 в хвостах обогащения⁷ равна 0,25%) равен 60 000-64 000 тонн в год. До 2018 года в Казахстане планируется начать строительство нового завода по конверсии в рамках совместного предприятия "Ульба Конверсия", учрежденного "Казатомпромом" и канадской корпорацией "Камеко". Завод будет располагаться на Ульбинском металлургическом заводе в Усть-Каменогорске. Ожидается, что его мощности по производству урана составят 12 000 т по UF_6 в год.



РИС. А-8. Строительство установки по конверсии "Комюрекс II" во Франции. Постепенный ввод в эксплуатацию ожидается в 2013-14 годах.

53. 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 (НЯКК), Российской Федерации (Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом"), США (компания "ЮСЭК" и компания "Уренко групп") и Франции (компания "Арева"). Компания "Уренко групп" эксплуатирует центрифужные установки в Германии, Нидерландах, Соединенном Королевстве (рис. А-9) и США. Небольшие установки по обогащению имеются также в Аргентине, Бразилии, Индии, Исламской Республике Иран, Пакистане и Японии.

⁷ Остаточное содержание в хвостах или концентрация урана-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.



РИС. А-9. Завод по обогащению компании "Уренко", Кейпенхерст, Соединенное Королевство.

54. В США ведется разработка двух новых промышленных установок по обогащению с использованием технологии центрифужного обогащения: установки «Игл Рок» компании «Арева» и Американского центрифужного завода. В сентябре 2012 года была выдана лицензия на строительство полномасштабной установки по лазерному обогащению в Северной Каролине, США, которым будет заниматься компания «Глобал лазер энричмент» – дочерняя компания объединения «Дженерал электрик – Хитати». Ожидается, что эта установка сможет производить 6 млн ЕРР/год и обогащать уран до 8 весовых процентов по урану-235.

55. Аргентина модернизирует свой газодиффузионный комплекс в Пильканиеу. Услуги по обогащению в настоящее время импортируются из США.

56. В июне 2012 года во Франции был закрыт диффузионный обогатительный завод «Жорж Бесс» компании «Юродиф», который находился в эксплуатации с 1979 года. Вместо этого завода в том же месте был открыт завод «Жорж Бесс-II» с иной формой долевого участия. Его нынешние установленные мощности составляют 1,5 млн ЕРР/год, причем к 2016 году запланировано увеличить их до 7,5 млн ЕРР. В обоих случаях держателем крупного пакета акций является компания «Арева».

57. В марте 2012 года компания "Джапан ньюклар фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) начала промышленную эксплуатацию усовершенствованных центрифужных каскадов в деревне Роккасё, префектура Аомори. Ведется обсуждение планируемого увеличения нынешних мощностей со 150 000 ЕРР/год до 1,5 млн ЕРР/год, а также строительства в Японии нового завода по обогащению с использованием российской центрифужной технологии в соответствии с соглашением между Росатомом и компанией "Тосиба".

58. В 2012 году совокупные мировые мощности по деконверсии⁸ оставались на уровне около 60 000 т UF₆/год.

59. В США КЯР выдала в октябре 2012 года компании «Интернешнл изотопс флюорайн продактс» лицензию на строительство и эксплуатацию установки по деконверсии обедненного урана в штате Нью-Мексико. На этой установке, которая будет называться Технологическая установка по извлечению фтора и деконверсии обедненного урана (ТУИФ/ДОУ), будет применяться запатентованная компанией технология извлечения фтора.

60. Текущие годовые потребности в услугах по изготовлению топлива для легководных реакторов (LWR) оставались равными приблизительно 7000 тонн обогащенного урана в тепловыделяющих сборках, однако ожидается, что к 2015 году они возрастут примерно до 8000 т U/год. Что касается PHWR, то потребности составили 3000 т U/год. Теперь будет

⁸ Для изготовления обогащенного уранового топлива UF₆ был реконверсирован в UO₂ порошок. Это первый шаг в изготовлении обогащенного топлива. Он называется реконверсией или деконверсией.

несколько конкурирующих поставщиков большинства видов топлива. Общемировые мощности по изготовлению топлива оставались на уровне около 13 500 т U в год (обогащенного урана в тепловыделяющих элементах и тепловыделяющих сборках) по топливу LWR и около 4000 т U в год (природного урана в тепловыделяющих элементах и пучках твэлов) по топливу PHWR. С целью получения природного уранового топлива для PHWR уран очищается и конвертируется в оксид урана (UO₂) в Аргентине, Индии, Канаде, Китае и Румынии.

61. В Китае производственные мощности завода НЯКК по производству топлива в Ибине составили в 2012 году около 600 т U/год. Что касается завода НЯКК в Баотоу, Внутренняя Монголия, который производит тепловыделяющие сборки для PHWR типа CANDU «Циньшань» (200 т U/год), то его мощности по производству топлива были увеличены до 400 т U/год. В Баотоу строится новый завод по производству топлива для китайских реакторов AP1000. Кроме того, в 2012 году государственная компания ядерной отрасли «ВЕК Цирконий хфниум ко.» (SNZWH) приступила к вводу в эксплуатацию нового завода по производству губчатого циркония в Наньтоне, Китай. Новый завод будет выпускать цирконий ядерной чистоты, применяемый для изготовления трубок тепловыделяющих сборок, которые поставляются как на китайский рынок через SNWHZ, так и на мировой рынок через «Вестингауз».

62. Завод по производству ядерного топлива в Казахстане, сооружение которого планируется завершить в 2014 году, является совместным предприятием «Арева» и «Казатомпрома», и его предполагаемая мощность составляет 1200 т U/год.

63. Неподалеку от Смолино, Украина, началось строительство завода по производству топлива для ВВЭР-1000, проектная мощность которого составит в 2015 году 400 т U/год. Этот завод будет построен топливной компанией «ТВЭЛ» в качестве российско-украинского совместного предприятия, в котором 50%+1 акция принадлежит Украине.

64. Предприятия по рециклированию топлива обеспечивают поставки вторичного ядерного топлива путем использования регенерированного урана (RepU) и MOX-топлива. В настоящее время в Электростали, Российская Федерация, для компании "Арева" производится приблизительно 100 т RepU/год. На одной производственной линии завода "Арева" в Романе, Франция, производится топливо в объеме около 80 т ТМ RepU в год для реакторов LWR во Франции. Нынешние мировые 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.

65. Индия и Российская Федерация производят MOX-топливо для использования в реакторах на быстрых нейтронах. 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".

66. В других странах MOX-топливо производится для использования в реакторах LWR. В Соединенном Королевстве производственные мощности завода по производству MOX-топлива в Селлафилде были сокращены со 128 до 40 т ТМ/год, а в августе Управление по снятию с эксплуатации ядерных объектов объявило о том, что оно переоценило перспективы этого завода и приняло решение о его закрытии. В США строятся дополнительные предприятия по изготовлению MOX-топлива в целях использования избыточного оружейного плутония. На сегодняшний день во всем мире MOX-топливо используется приблизительно в 30 LWR.

Обеспечение гарантированных поставок

67. В декабре 2010 года Совет управляющих утвердил создание банка НОУ МАГАТЭ. В течение 2012 года Секретариат Агентства продолжил работу в отношении финансовых, юридических и технических мер и оценок площадок для создания банка. Он будет располагаться на Ульбинском металлургическом заводе в Казахстане. 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 2012 года обязательства по взносам были полностью выплачены Норвегией (5 млн долл.), США (около 50 млн долл.), ИЯУ (50 млн долл.) и Кувейтом (10 млн долл.); ЕС внес 20 млн евро из принятых им обязательств в сумме 25 млн евро и завершающей стадии достигли договоренности с Объединенными Арабскими Эмиратами (10 млн долл.)⁹.

А.3.3. Конечные стадии ядерного топливного цикла

Отработавшее ядерное топливо и переработка ядерного топлива

68. Применяются две различные стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом. В рамках одной из них топливо перерабатывается с целью извлечения материала (урана и плутония), пригодного к использованию в новом топливе. В рамках другой отработавшее топливо просто считается отходами и хранится до захоронения. В настоящее время такие страны, как Индия, Китай, Российская Федерация и Франция перерабатывают большинство своего отработавшего топлива, а такие страны как Канада, Финляндия и Швеция предпочитают прямое захоронение. Большинство стран еще не решили, какую стратегию принять. В настоящее время они хранят отработавшее топливо и следят за разработками, связанными с обоими альтернативными вариантами.

69. Заметные события, произошедшие в 2012 году, о которых будет кратко говориться в последующих пунктах, включают обращение компании «Посива» в Финляндии за лицензией на строительство пункта захоронения; приостановление Канадой направления заинтересованным общинам приглашений высказывать предложения по выбору площадки для хранилища отработавшего ядерного топлива и центра экспертизы в связи с тем, что требуется время для дачи полных ответов на 21 заявление о своей заинтересованности, которые уже были представлены; рекомендацию, содержащуюся в докладе Комиссии независимых экспертов по ядерному будущему Америки, применять к выбору площадок для установок страны по обращению с ядерными отходами новый подход, основывающийся на консенсусе, и создать новую организацию, которая занималась бы исключительно реализацией программы обращения с отходами. Выполнение рекомендаций Комиссии потребует значительных изменений в законодательстве США, регулирующем ядерные отходы.

70. В 2012 году из всех ядерных энергетических реакторов было выгружено приблизительно 10 000 т ТМ отработавшего топлива. Общий совокупный объем отработавшего топлива, которое было выгружено во всем мире по состоянию на декабрь 2012 года, составляет приблизительно 360 500 т ТМ, из которых приблизительно 250 700 т ТМ хранятся в приреакторных или внереакторных хранилищах. Менее одной трети суммарного объема отработавшего топлива, выгруженного во всем мире – примерно 109 800 т ТМ – было подвергнуто переработке. В 2012 году общемировые мощности по переработке промышленного масштаба, сосредоточенные в четырех странах (Индии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве и Франции), составили приблизительно 4800 т ТМ/год.

⁹ Другие механизмы гарантированных поставок, существующие сейчас, описываются в «Обзоре ядерных технологий – 2012».

71. В декабре в качестве площадки для хранилища испанского отработавшего ядерного топлива был официально выбран Вильяр-де-Каньяс (рис. А-10). Эта площадка была сочтена подходящей с учетом геологических, сейсмологических, метеорологических, гидрологических факторов, геометрических параметров и рисков, связанных с местными населенными пунктами. Это хранилище будет принимать транспортные контейнеры с облученными тепловыделяющими сборками, которые в настоящее время хранятся на каждой испанской АЭС, или остеклованные отходы, которые поступают с АЭС «Вандельос» и в настоящее время хранятся во Франции.



РИС. А-10. Визуальный макет хранилища отработавшего ядерного топлива, которое будет строиться в Вильяр-де-Каньясе.

72. В Индии продолжается строительство комбината топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах в Калпаккаме. В настоящее время на усовершенствованной установке по изготовлению топлива Центра атомных исследований им. Бхабхи в Тарапуре налажено производство твэлов с МОХ-топливом для будущего прототипного реактора-размножителя на быстрых нейтронах.

73. В Японии в сентябре 2012 года ДжНФЛ объявила о том, что она продолжит строительство промышленного завода по переработке топлива производительностью 800 т ТМ/год в Роккасё, которое было приостановлено в результате землетрясения и цунами, произошедших 11 марта 2011 года. Строительство планируется завершить в октябре 2013 года.

74. В июле 2012 года в Республике Корея Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии завершил строительство комплексной установки по демонстрации пиропроессинга с использованием нерадиоактивных материалов (PRIDE) в качестве одного из элементов промышленной демонстрационной установки для пиропроессинга¹⁰ отработавшего оксидного топлива. Пусконаладочные испытания установки PRIDE начались в августе 2012 года, а после них были проведены испытания эксплуатационных и функциональных характеристик систем эксплуатации и инженерного обеспечения, которые планировалось завершить в начале 2013 года.

75. Ожидается, что работы по существующим контрактам на переработку, заключенным с руководством установки термально-оксидной переработки (THORP) в Селлафилде, Соединенное Королевство, будут завершены к 2018 году. Управление по снятию с эксплуатации ядерных объектов подтвердило, что после этого установка будет закрыта на

¹⁰ Пиропроессинг – это переработка ядерного топлива безводными методами, когда материалы извлекаются и очищаются при высоких температурах без H₂O.

вывод из эксплуатации, а развития инфраструктуры, которое необходимо для продления ее срока эксплуатации, осуществляться не будет.

Обращение с радиоактивными отходами

76. Радиоактивные отходы образуются в результате применения ядерных технологий для производства электроэнергии, исследовательской деятельности, медицинского и промышленного применения, а также в результате как прошлого, так и настоящего военного применения. Безопасное обращение с радиоактивными отходами требует хранилищ надлежащей вместимости и, в конечном счете, захоронения. В мире либо функционируют, либо разрабатываются пункты захоронения для всех категорий радиоактивных отходов. По состоянию на декабрь 2012 года в мире функционировало 464 хранилища и 154 пункта захоронения отходов¹¹ (рис. А-11).



РИС. А-11. Пункт промежуточного хранения отходов НАВОГ, Нидерланды.

Оценки глобальных объемов

77. Объем радиоактивных отходов в мире, о хранении которых сообщалось в 2011 году (самые свежие из имеющихся данных), составлял 68 млн. кубических метров¹² (таблица А-2). Суммарный объем радиоактивных отходов, захороненных до 2011 года, составил приблизительно 76 млн кубических метров, что включает закаченные в глубокие скважины около 29 млн кубических метров жидких отходов, а также захоронение примерно 4000 кубических метров твердых высокоактивных отходов (ВАО), главным образом образовавшихся в результате чернобыльской аварии. Объем ежегодно накапливаемых обработанных ВАО является довольно постоянным, и в среднем в мире накапливается примерно 850 кубических метров в год (не считая отработавшего топлива).

¹¹ На основе информации, предоставленной государствами-членами в сетевую базу данных МАГАТЭ по обращению с отходами (NEWMDB), доступную в онлайн-режиме по адресу <http://newmdb.iaea.org/>.

¹² Оценка подготовлена с использованием NEWMDB МАГАТЭ и других источников в отношении стран, не представляющих информации в NEWMDB.

Таблица А-2. Оценка объемов радиоактивных отходов в мире в 2011 году (последние данные)¹³

Класс отходов	Хранение¹⁴ [кубических метров]	Суммарный объем захоронения [кубических метров]
Очень низкоактивные отходы (ОНАО)	153 000¹⁵	113 000
Низкоактивные отходы (НАО)	56 663 000¹⁶	64 792 000¹⁷
Среднеактивные отходы (САО)	8 723 000	10 587 000
Высокоактивные отходы (ВАО)	2 743 000	72 000¹⁸

Источники: NEWMDB (2012 год), официальные национальные доклады и имеющиеся в открытом доступе данные.

Национальные разработки в отношении вариантов захоронения

78. Большое число пунктов захоронения отходов были сооружены и используются в настоящее время для очень низкоактивных, низкоактивных и среднеактивных отходов, а в ближайшем будущем должно начаться строительство некоторых пунктов захоронения отработавшего ядерного топлива. Функционирующие пункты захоронения отходов включают траншейное захоронение ОНАО (например, в Испании, Франции и Швеции) или НАО в засушливых районах (например, в Аргентине, Индии, США, Южной Африке); приповерхностные инженерные сооружения для НАО (например, в Индии, Испании, Китае, Словакии, Соединенном Королевстве, Украине, Франции, Чешской Республике и Японии);

¹³ Цифры, указанные в таблице А-2, представляют собой оценки, а не точные данные количества радиоактивных отходов, обращение с которыми в настоящее время осуществляется в мире. Кроме того, имеются неизбежные расхождения в оценке количеств находящихся на хранении отходов, ежегодно возникающих в силу следующих факторов: а) изменений в массе и объеме отходов в процессе обращения с отходами; б) изменений в отчетности и изменений или поправок, вносимых государствами-членами в свои собственные данные; в) добавления в базу данных новых государств-членов.

¹⁴ При хранении и до захоронения отходы, как правило, обрабатываются и кондиционируются, а также проходят через различные стадии манипулирования. Поэтому масса и объем радиоактивных отходов 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.

¹⁵ Оценка в отношении ОНАО гораздо ниже, чем в отношении НАО, поскольку многие государства-члены, имеющие значительные объемы отходов, не определяют класс отходов ОНАО. Однако многие из этих государств-членов в настоящее время проводят переоценку определений своих классов отходов для более точного приведения их в соответствие с классами, рекомендованными в документе Classification of Radioactive Waste (IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, 2009) («Классификация радиоактивных отходов» (Серия норм МАГАТЭ по безопасности № GSG-1, 2009 год)), и поэтому эта оценка вероятно возрастет в будущем, а оценка в категории НАО соответствующим образом снизится.

¹⁶ Оценка в отношении НАО, находящихся на хранении, не включает примерно 4×10^8 м³ жидких НАО, которые, как сообщается, содержатся в специальных резервуарах, не изолированных от окружающей среды, поскольку это не соответствует данному Агентством определению термина «хранение», приводимому в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности (2007 год). По этой причине ситуация с этими отходами в отношении включения в эту оценку пока является неопределенной.

¹⁷ Значительное изменение в оценке суммарного объема захоронения НАО и САО в сравнении с предыдущим докладом объясняется включением оценочных данных, представленных Российской Федерацией.

¹⁸ Этот объем высокоактивных отходов объединяет в себя захоронение жидких отходов, о которых сообщила Российская Федерация, и примерно 4000 м³ твердых радиоактивных отходов, о которых сообщила Украина и которые считаются временно захороненными до тех пор, пока не будет найдено более постоянное конструктивное решение/место или техническое решение. Украинское захоронение ВАО является результатом аварийной очистки после аварии на блоке 4 Чернобыльской АЭС.

подповерхностные инженерные сооружения для низко- и среднеактивных отходов (НАО и САО) (например, в Финляндии и Швеции); скважинное захоронение НАО, осуществляемое в США; геологические хранилища для НАО и САО (например, в Германии и США). Варианты захоронения отходов радиоактивных материалов природного происхождения меняются в зависимости от национальных регулирующих положений и варьируются от пунктов траншейного захоронения до подповерхностных инженерных сооружений (например, в Норвегии).

79. Варианты захоронения изъятых из употребления закрытых источников (ИУЗРИ) включают совместное захоронение с другими отходами в приемлемых пунктах или захоронение в специально пробуренных скважинах, вопрос о чем рассматривается в нескольких странах, включая Гану, Малайзию, Филиппины и Южную Африку.

80. Были предприняты шаги по лицензированию пунктов геологического захоронения ВАО и/или отработавшего топлива в Финляндии, Франции и Швеции.

81. В Бельгии концепция обоснования безопасности, разработанная Бельгийским агентством по радиоактивным отходам и обогащенным делящимся материалам (ОНДРАФ/НИРАС) для своего планируемого приповерхностного захоронения в Десселе, была предметом международного экспертного рассмотрения, организованного Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) ОЭСР; выводы по итогам рассмотрения, выпущенного в сентябре 2012 года, были в целом позитивными.

82. В Канаде рассматривается вопрос о создании трех установок для геологического захоронения: установки на площадке Брус компании "Онтарио пауэр дженерейшн" для НАО и САО, площадки Чок-Риверских лабораторий, которая может быть использована для НАО и САО, и третьей площадки, место расположения которой пока не определено, для канадского хранилища отработавшего ядерного топлива и центра экспертизы. Инженерно-техническое проектирование установки на площадке Брус частично завершено. Компания "Атомик энерджи оф Кэнада лимитед" изучает в настоящее время вопрос о пригодности площадки Чок-Риверских лабораторий. Что касается третьей площадки, то 30 сентября 2012 года Организацией по обращению с ядерными отходами этой страны был приостановлен этап приема заявлений о заинтересованности от общин, желающих участвовать в процессе выбора площадки для канадского хранилища отработавшего ядерного топлива и центра экспертизы, с тем чтобы сконцентрировать усилия на проведении подробных исследований, которые требуется организовать в общинах, которые уже официально проявили интерес к этому на эту дату или до нее.

83. Среднесрочный план Китая по обращению со своими НАО и САО заключается в том, чтобы иметь в эксплуатации к 2020 году пять региональных пунктов захоронения общей вместимостью для целей захоронения примерно в 1 000 000 м³. Два из них, расположенные около Юймыня в северо-западной провинции Ганьсу и около АЭС «Даявань» в южной провинции Гуандун, функционируют, и их нынешняя вместимость составляет 20 000 м³ и 80 000 м³ соответственно, а в потенциале их вместимость может быть в будущем увеличена до 200 000 м³ и 240 000 м³. Ведутся строительные работы и на третьей площадке, расположенной в юго-западном Китае. Работы на остальных двух площадках, расположенных в северном и восточном Китае, пока не начались.

84. В Финляндии компания "Посива" продвигается вперед в деле строительства подземной исследовательской установки "Онкало". В декабре она подала правительству Финляндии заявку на получение лицензии на строительство хранилища на площадке Олкилуото, где она намерена начать окончательное захоронение в 2020 году.

85. Во Франции Национальное агентство по обращению с радиоактивными отходами (АНДРА) ведет подготовку к промышленной стадии разработки проекта захоронения САО и ВАО с возможностью перезахоронения «Сижео», который планируется ввести в эксплуатацию в 2025 году, а также провело рассмотрение целесообразности и официальную процедуру привлечения населения в качестве заинтересованной стороны до подачи заявки на лицензию. АНДРА опубликовало также издание 2012 года с данными об инвентарном количестве радиоактивных отходов в стране, где приводятся характеристики, объем и места нахождения имеющихся в стране отходов.

86. В Германии правительство объявило в ноябре 2012 года о том, что все исследовательские и изыскательские работы на установке для хранения отходов атомной промышленности в Горлебене, проводившиеся с целью превращения временной площадки в постоянную, будут остановлены до принятия политического решения о будущих планах в отношении Горлебена – дальнейшие исследования, мораторий или закрытие.

87. На пункте захоронения в Батаапати, Венгрия, рассчитанном на 40 000 м³ НАО и САО, которые будут образовываться в результате работы АЭС, было завершено строительство наклонных подъездных путей, ведущих в хранилище (рис. А-12), служебных туннелей, а также первых двух ячеек для захоронения. На состоявшейся в декабре церемонии открытия объекта в хранилище был помещен первый контейнер с радиоактивными отходами (РАО), содержащий 9 железобетонных емкостей с отходами (рис. А-13). Концепция функционирования хранилища предусматривает параллельное сооружение дополнительных ячеек для захоронения одновременно с помещением отходов в существующие ячейки.



РИС. А-12. Подъездной путь к национальному хранилищу радиоактивных отходов в Батаапати, Венгрия.



РИС. А-13. Первый контейнер с РАО, помещенный в хранилище в Батаапати, Венгрия.

88. В Республике Корея, в соответствии с нынешними планами, в июне 2014 года планируется завершить строительство пункта захоронения в Кёнджу, который рассчитан на захоронение 100 000 емкостей НАО и САО в шахтах.

89. Агентство по обращению с радиоактивными отходами Литвы завершило исследования площадок и рассматривает проектные решения в отношении запланированного к строительству пункта приповерхностного захоронения, рассчитанного на размещение примерно 100 000 м³ короткоживущих НАО и САО.

90. В Российской Федерации правительство утвердило три основополагающих документа по обращению с радиоактивными отходами для содействия деятельности в областях ядерной энергии, работ по очистке, восстановления загрязненных площадок и извлечения и переработки минеральных и органических материалов с высоким содержанием природных радионуклидов. Начались также работы по созданию пунктов захоронения радиоактивных отходов. Ведутся работы по эскизному проектированию создания подземной лаборатории на Нижнеканском гранитоидном массиве (на глубине 500 м) в Красноярском крае Сибири. В этой лаборатории будет изучаться возможность захоронения на этой площадке долгоживущих высоко- и среднеактивных отходов. Пункт захоронения должен начать функционировать в 2021 году. Кроме того, были проведены работы по эскизному проектированию (инженерно-геологические работы) пункта захоронения НАО и короткоживущих САО на северо-западе Российской Федерации. В 2011 году в промышленную эксплуатацию было сдано первое в стране внереакторное сухое хранилище на горно-химическом комбинате в Железногорске, Красноярский край.

91. В июне 2012 года назначенная АЯЭ международная группа завершила положительное рассмотрение заявления о предоставлении лицензии для и установки для геологического захоронения и инкапсуляции радиоактивных отходов в Оскарсхамне, представленного Шведской компанией по обращению с ядерным топливом и отходами, которая планирует приступить к эксплуатации этой установки в 2025 году.

92. На установке для захоронения НАО и САО в Буряковке, Украина, разработанной после аварии на Чернобыльской АЭС, в рамках финансируемого Европейской комиссией проекта реконструкции запланировано увеличение емкости хранилища на 120 000 м³ дополнительно к нынешней емкости, составляющей приблизительно 700 000 м³.

93. В США в апреле 2012 года началась эксплуатация новой установки для захоронения радиоактивных отходов в округе Эндрюс, шт. Техас. На нее поступают отходы из штатов Техас, Вермонт и от федерального правительства. Эта установка для приповерхностного захоронения отходов включает два смежных хранилища аналогичной конструкции: одно для коммерческих отходов, а другое – для отходов, поступающих от федерального правительства.

94. Был осуществлен ряд успешных операций по удалению изъятых из употребления закрытых радиоактивных источников (ИЗРИ) из помещений пользователей и постановке их под контроль путем перемещения либо в национальное хранилище радиоактивных отходов, либо в другое учреждение с надлежащими условиями хранения. При непосредственной помощи со стороны Агентства в Гондурасе были возвращены под контроль и переданы в национальное хранилище 125 ИЗРИ, включая старый гамма-облучатель. Также при непосредственной помощи со стороны Агентства в феврале 2012 года в Коста-Рике были возвращены под контроль, дезактивированы, охарактеризованы, упакованы и перевезены из загрязненного бункера в учреждение с более безопасными условиями хранения два гамма-облучателя. С целью обеспечения более безопасного длительного хранения в Гондурасе и Коста-Рике в ноябре 2012 года были подвергнуты кондиционированию несколько изъятых из употребления источников для брахитерапии на основе радия-226 и цезия-137. Кроме того, в сентябре 2012 года при непосредственной помощи со стороны Агентства и в сотрудничестве с Фондом нераспространения и разоружения США и Инициативой по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ) было успешно завершено возвращение из Уругвая в страну происхождения индийского облучателя, содержавшего 15 вышедших из употребления радиоактивных источников высокой активности.

Радиоактивные отходы прежней деятельности

95. Ведется значительная работа по ликвидации ядерного наследия холодной войны. Уже более 15 лет Контактная экспертная группа Агентства по международным проектам в области ядерного наследия в Российской Федерации (КЭГ) выступает в роли эффективного форума для обмена информацией и координации программ по ядерному наследию в Российской Федерации. В 2012 году одним из ее наиболее важных достижений была успешная выгрузка ядерного топлива из реактора с жидкометаллическим теплоносителем на атомной подводной лодке в ноябре. Российская Федерация при значительной помощи партнеров по КЭГ выгрузила топливо из большинства из 200 снятых с эксплуатации ядерных подводных лодок и демонтировала их, причем осталось лишь 5 подводных лодок, которые еще не демонтированы. Реакторные блоки подводных лодок с выгруженным топливом проходят процесс герметизации и помещения в хранилища для долгосрочного хранения. В 2011 году было завершено сооружение одного такого хранилища на северо-западе Российской Федерации. Второе было открыто в мае 2012 года на Дальнем Востоке в Российской Федерации, а первый реакторный отсек поступил в него для хранения в сентябре (Рис. А-14). Аналогичная программа выполняется в США, которые демонтировали 114 атомных подводных лодок и судов.



РИС. А-14. Демонтаж атомной подводной лодки.

96. Приоритетная задача КЭГ в настоящее время – безопасное обращение с отработавшим ядерным топливом и отходами с бывших военно-морских баз и безопасное их удаление. В северо-западном и дальневосточном регионах Российской Федерации сооружаются два региональных центра 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 к настоящему времени утилизировано, при этом остается утилизировать только 75.

Обращение с радиоактивными отходами: меры в связи с аварией на АЭС «Фукусима-дайити»

97. Авария на АЭС «Фукусима-дайити» создала существенные проблемы, связанные с обращением с радиоактивными отходами, находящимися на площадке, а также распространившимися по обширным территориям за пределами площадки (Рис. А-15). К отходам на площадке относятся большие объемы сильно загрязненной соленой воды в зданиях, где размещены реакторы и турбины, и разнообразные твердые отходы, такие как обломки, поваленные деревья, почва и металлы, содержащие главным образом радионуклиды цезия, но также и значительные концентрации других продуктов деления и, возможно, следы трансурановых элементов. К отходам за пределами площадки относятся большие объемы загрязненных обломков, образовавшихся в результате разрушений, вызванных цунами, и весьма большие объемы загрязненных материалов, образовавшихся в результате запланированной массивной деятельности по очистке/восстановлению на городских, сельскохозяйственных, лесных и водных территориях, наиболее пострадавших от выбросов радиоактивного цезия (Рис. А-16).

98. Высокорадиоактивная вода, накопившаяся в зданиях, где размещены реакторы и турбины, постоянно обрабатывается на созданных благодаря местному и международному сотрудничеству очистных установках с целью удаления из нее цезия. Обработанная вода накапливалась в резервуарах или вновь использовалась после опреснения для охлаждения поврежденных активных зон реакторов. Совокупный объем обработанной воды по состоянию на ноябрь 2012 года составил приблизительно 500 000 куб. м. С целью удаления других радиоактивных элементов, помимо цезия, были смонтированы и готовятся к эксплуатации универсальные установки для удаления нуклидов. К основным актуальным проблемам в этой области относятся хранение весьма больших объемов обработанной воды и продолжающееся проникновение в здания подземных вод, приводящее к дальнейшему увеличению объемов загрязненной воды, подлежащей обработке и хранению. Твердые отходы, накопившиеся на площадке, хранятся во временных хранилищах, причем с целью определения характеристик отходов и вариантов дальнейшего обращения с ними проводится отбор и анализ проб.

99. С удалением из поврежденных реакторов обломков топлива («выгрузкой топлива») связан ряд технологических проблем. Эту работу необходимо будет выполнять в условиях чрезвычайно высокой радиационной дозовой нагрузки в реакторных зданиях. Поэтому для выгрузки топлива потребуются разработка и внедрение специальных инструментов, дистанционно управляемого погрузочно-разгрузочного оборудования и использование передовых методов. С целью предотвращения ненужного облучения работников потребуются разработка дистанционно управляемых устройств для тщательного изучения состояния загрязненности или технологий дистанционного управления и роботизированных технологий для выполнения работ по дезактивации (например, мытья, очистки/уборки пылесосами, щеточной очистки/выкрашивания поверхности и окраски/распыления дезактивирующих составов). НИОКР для таких устройств и технологий планируются на основе многостороннего сотрудничества с участием международных экспертов и учреждений.

100. 1 января 2012 года в Японии полностью вступил в силу закон 2011 года о специальных мерах по борьбе с радиоактивным загрязнением. На основе этого закона производятся планирование и осуществление работ по дезактивации за пределами площадки, а также сбор, передача, временное хранение и окончательное захоронение отходов. Работы по дезактивации проводятся в общей сложности в 104 муниципалитетах. Они включают территории в радиусе 20 км от АЭС «Фукусима-дайити» или зоны, в которых годовые дозы облучения превышают 20 мЗв. По состоянию на август 2012 года работы по дезактивации были завершены в 78 из 104 муниципалитетов. Кроме того, прилагались интенсивные усилия, направленные на создание установки для промежуточного хранения, причем была поставлена задача определить место для этой установки в течение года и начать ее эксплуатацию в течение трех лет. Как ожидается, окончательное захоронение будет произведено в течение 30 лет после начала эксплуатации промежуточного хранилища.



РИС. А-15. АЭС "Фукусима-Дайити" компании ТЕРКО, октябрь 2011 года.



РИС. А-16. Временное хранение удаленной почвы в качестве модельного проекта восстановительных мероприятий в начальной школе Томинари, г. Дате, октябрь 2011 года.

Снятие с эксплуатации

101. По состоянию на декабрь 2012 года во всем мире были окончательно остановлены 142 энергетических реактора. В это число входят 18 энергетических реакторов, которые были либо заявлены как выходящие на этап снятия с эксплуатации, либо были окончательно остановлены в 2012 году. В общей сложности к настоящему времени полностью демонтированы 16 энергетических реакторов, и еще 52 реактора находятся в процессе демонтажа, 59 реакторов остаются в режиме безопасного закрытия или ожидают начала окончательного демонтажа, 3 реактора находятся на консервации, а 12 еще не имеют конкретной стратегии снятия с эксплуатации.

102. В настоящее время в процессе снятия с эксплуатации или демонтажа находятся более четырехсот исследовательских реакторов и критических сборок. Несколько сотен других ядерных установок, таких как установки по обращению с радиоактивными отходами или установки ядерного топливного цикла, были сняты с эксплуатации или подвергаются демонтажу.

103. Значительные успехи были достигнуты в осуществлении проектов по снятию с эксплуатации энергетических реакторов в Испании, Соединенном Королевстве, США, Украине и Франции. Продолжающееся строительство нового безопасного укрытия для четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС и демонтаж внутрикорпусных устройств реакторов¹⁹ на АЭС «Хосе Кабрера» в Испании являются примерами технических достижений (Рис. А-17 и А-18). Однако, несмотря на прогресс, достигнутый в нескольких странах, осуществление проектов снятия с эксплуатации в некоторых государствах-членах с менее развитыми ядерными инфраструктурами необходимо ускорить.



РИС. А-17. Демонтаж внутрикорпусных устройств реактора (слева) на АЭС «Хосе Кабрера» (справа) (фотографию предоставила компания «ЭНРЕСА»).



РИС. А-18. Строительство нового безопасного укрытия для четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС (фотографию предоставила Чернобыльская АЭС).

104. Сохраняются значительные проблемы, связанные со снятием с эксплуатации, такие как наличие вариантов финансирования и захоронения отходов, а также доступ к соответствующим техническим и людским ресурсам, особенно в случае АЭС, которые были остановлены после тяжелой аварии. Продолжающееся снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС и будущее снятие с эксплуатации АЭС "Фукусима-Дайити" – это самые наглядные примеры работ на таких ядерных установках. Отсутствие надлежащей правовой основы и основы регулирования также остается важным ограничением в некоторых странах.

¹⁹ "Внутрикорпусные устройства ядерных реакторов" являются основными конструкциями внутри корпуса реактора, которые выполняют одну или несколько функций, таких как обеспечение опоры для активной зоны, размещение и дистанционирование топлива, подача и регулирование потока теплоносителя первого контура, радиационная защита корпуса реактора и ввод внутризонных датчиков.

105. В Японии в августе 2012 года была модернизирована среднесрочная и долгосрочная дорожная карта снятия с эксплуатации АЭС "Фукусима-Дайити". Документ *Состояние разработки среднесрочной и долгосрочной дорожной карты снятия с эксплуатации 1-4 энергоблоков АЭС "Фукусима-Дайити" компании ТЕРКО*²⁰, выпущенный руководством штаба реагирования на ядерную аварийную ситуацию – Советом компании ТЕРКО по среднесрочному и долгосрочному реагированию, был подготовлен с целью описания основы всей деятельности, требуемой для снятия этой АЭС с эксплуатации, и связанного с этим обращения с радиоактивными отходами (Рис. А-19).

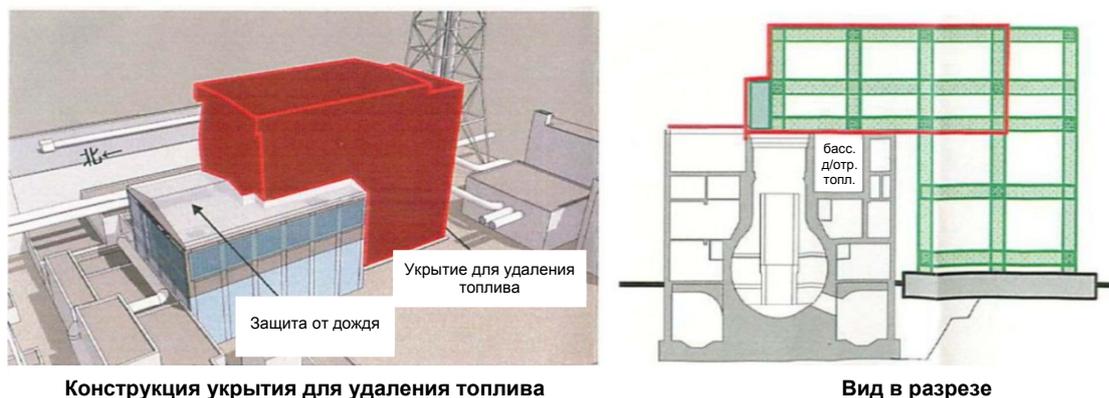


РИС. А-19. Защитное укрытие для удаления отработавшего топлива из бассейна для отработавшего топлива на АЭС "Фукусима-Дайити-4".

А.4. Безопасность

106. В 2012 году в центре обсуждения вопросов безопасности атомных электростанций была необходимость определить и применять на практике уроки, извлеченные из аварии на АЭС "Фукусима-дайити", произошедшей в марте 2011 года. Хотя извлечены еще не все уроки, уже разработаны планы действий по практическому применению предварительных уроков аварии, которые осуществляются на национальном и международном уровне. В принятом на Генеральной конференции в сентябре 2011 года Плане действий МАГАТЭ по ядерной безопасности определена программа работы по укреплению глобальной системы ядерной безопасности. В нем определены 12 основных действий²¹. Впоследствии могут быть извлечены дальнейшие уроки, которые в надлежащих случаях будут учтены в данных действиях при обновлении Плана действий.

107. В 2012 году Агентством были созваны три совещания международных экспертов в связи с Планом действий: совещание по вопросам безопасности реакторов и отработавшего топлива в свете аварии на АЭС "Фукусима-дайити", совещание по вопросам повышения прозрачности и эффективности обмена информацией в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации и совещание по вопросам защиты от экстремальных землетрясений и цунами в свете аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Кроме того, в период с 15 по 17 декабря 2012 года Японией в сотрудничестве с Агентством была проведена Фукусимская конференция по ядерной

²⁰ http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20120625_01a.pdf

²¹ 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.

безопасности на уровне министров, которая помогла внести вклад в укрепление ядерной безопасности во всем мире, предоставив возможность поделиться с международным сообществом на уровне министров и экспертов дальнейшими знаниями и уроками, извлеченными из аварии на АЭС «Фукусима-дайити».

108. С точки зрения эксплуатации уровень безопасности АЭС во всем мире по-прежнему высок, о чем свидетельствуют индикаторы безопасности, информацию о которых собирают Агентство и Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции. На рисунке А-20 показано общее число незапланированных аварийных остановов или прерываний работы реакторов на каждые 7000 часов работы энергетических реакторов в режиме критичности. Этот показатель обычно используется в качестве индикатора успешной деятельности по повышению безопасности станций. Как показано, в последние годы отмечается неуклонное улучшение ситуации, хотя и не столь значительное, как в 90-е годы прошлого века. Увеличение этого показателя в 2010 году по сравнению с 2011 годом связано с высоким числом аварийных остановов в связи с землетрясением в марте 2011 года в Японии.

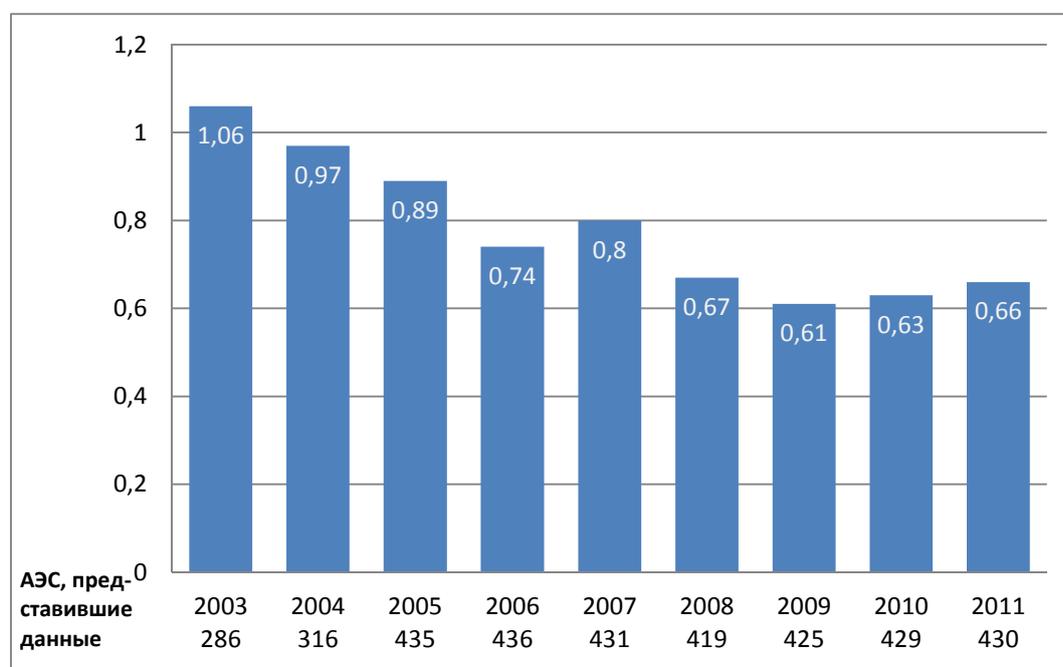


РИС. А-20. Общее число незапланированных аварийных остановов, как в автоматическом, так и в ручном режиме, на каждые 7000 часов работы энергетических реакторов в режиме критичности. Источник: Информационная система Агентства по энергетическим реакторам (ПРИС), <http://www.iaea.org/pris>.

109. С дополнительной информацией о ядерной безопасности можно ознакомиться в Обзоре ядерной безопасности – 2013 или в Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2011 год.

В. Атомные и ядерные данные²²

110. Точные ядерные и атомные данные крайне важны для всех ядерных исследований и инноваций. Эти данные имеют громадное значение для многих применений, таких как ядерная энергетика (ядерное деление), исследовательские реакторы, термоядерный синтез, медицина, неразрушающие испытания и мониторинг окружающей среды.

111. Работа в области ядерных данных проводится во всем мире региональными центрами данных. Один из основных центров располагается в Агентстве; к другим относятся Банк данных АЯЭ в Париже, Франция, Российский центр ядерных данных в Обнинске и Национальный центр ядерных данных США в Брукхейвенской национальной лаборатории. Агентство координирует две сети, которые связывают эти центры, Международную сеть центров данных по ядерным реакциям (NRDC) и Международную сеть оценщиков данных о структуре и распаде ядра (NSDD). NRDC в основном работает с базой данных, содержащей экспериментальные данные по ядерным реакциям (EXFOR), в то время как NSDD контролирует файл оцененных данных по структуре ядра (ENSDF) и проводит соответствующие горизонтальные оценки. Эти постоянно обновляемые базы данных обеспечивают важную исходную информацию для исследований и разработок в области ядерной науки и технологий, а также для энергетических и неэнергетических применений.

112. В прошлом году международным сообществом специалистов в области данных рассматривался вопрос об изменении формата для хранения ядерных данных. Современные технические возможности позволяют изменить стандарт путем перехода с нынешнего и сохраняющегося в течение длительного времени текстового формата «перфокарт» на современный структурированный язык, такой как XML. В случае положительного решения такое изменение стало бы существенным новшеством.

113. На международном симпозиуме по реакторной дозиметрии (ISRD-14), состоявшемся в мае 2011 года в США, была подчеркнута важность дозиметрических данных, позволяющих точно определять нейтронные спектры и флюенс. В то время как база данных, содержащая Международный файл по реакторной дозиметрии Агентства (IRDF), является таким стандартом много лет, недавно она была заменена новым файлом дозиметрических данных, Международным файлом по реакторной дозиметрии и термоядерному синтезу (IRDFF), также подготовленным Агентством и предназначенным для более широкого диапазона применений, включая термоядерный синтез. Планируется, что в течение следующих нескольких лет IRDFF будет по мере необходимости подвергаться проверке и улучшаться, в частности, посредством работ, координируемых Агентством.

114. Файлы оцененных данных применяются пользователями в качестве исходной информации в кодах при разработке устройств, подготовке обоснований безопасности и выполнении фундаментальных научных исследований. В 2011 и 2012 годах во всем мире были выпущены три новых варианта этих файлов: ENDF/B-VII.1 (США), JEFF-3.1.2 (Европа) и JENDL-4.0 (Япония). Ожидается, что в ближайшие несколько лет эти файлы будут подвергнуты всесторонней проверке и тестированию. Это поможет выявить возможные недостатки, причем эксперименты и расчеты будут продолжены, с тем чтобы помочь в подготовке улучшенных версий данных файлов. На рисунке В-1 приведен пример данных,

²² Начиная с ОЯТ 2012, информация о новых событиях в областях ядерного деления и термоядерного синтеза предоставляется на двухгодичной основе, поочередно с информацией о новых событиях в области атомных и ядерных данных. Такой измененный подход позволяет нам более подробно описывать важные тенденции и новые события.

включая погрешность, о реакции захвата нейтронов для вольфрама, полученных из этих трех баз данных. Этот график был получен с помощью компьютерной программы, разработанной Агентством и обеспечивающей улучшенное визуальное сравнение и распространение ядерных данных из широкого диапазона источников данных.

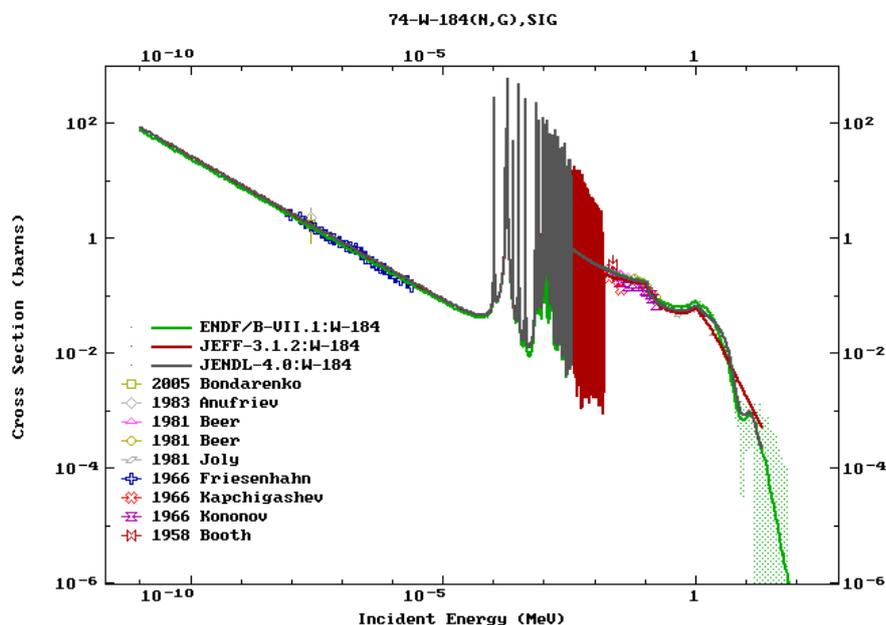


РИС. В-1. Пример данных из трех недавних библиотек оцененных данных с включением некоторых экспериментальных данных из EXFOR. Затрихованная область справа показывает, как может быть представлена информация о погрешности из ENDF/B-VII.1.

115. Упомянутые выше файлы оцененных данных достигают определенной степени зрелости, когда большая часть данных сходится. Вместе с тем остаются некоторые области, в которых признаются расхождения, но они, как правило, имеют масштаб, трудно поддающийся разрешению в рамках одного проекта по оценке. Международное сотрудничество рассматривается в качестве пути решения этой проблемы, и многое уже достигнуто благодаря деятельности АЯЭ по сотрудничеству в оценке ядерных данных, в ходе которой опубликовано 30 докладов. Было предложено, чтобы она была значительно расширена путем введения новой рабочей парадигмы с целью ускорения подготовки оцененных данных по ядерным реакциям, названной Совместной международной организацией библиотек оцененных данных. Первоначально будет рассмотрена серия из шести основных изотопов, а именно, ^1H , ^{16}O , ^{56}Fe , $^{235,238}\text{U}$ и ^{239}Pu . Это планируется для того, чтобы обеспечить надежные оценки, которые могут быть приняты всеми проектами, и в будущем, под руководством международных организаций, таких как АЯЭ и МАГАТЭ, позволит рассматривать намного более широкие области ядерных данных.

116. Управляемый термоядерный синтез является громадным потенциальным источником энергии. Проект Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР)²³ имеет цель продемонстрировать научно-техническую осуществимость и характеристики безопасности использования термоядерной энергии в мирных целях. В рамках этого проекта сооружается установка масштаба электростанции, которая, как ожидается, продемонстрирует возможность достижения на термоядерной установке мощностей, достигающих 500 МВт (Рис. В-2). Библиотека FENDL-2.1 действовала в качестве источника справочных данных для

²³ Дополнительную информацию об ИТЭР можно найти в Интернете по адресу: <http://www.iter.org/>.

проекта ИТЭР, и, с целью оказания помощи при анализе результатов, в рамках проекта координированных исследований Агентства была подготовлена улучшенная библиотека FENDL-3.

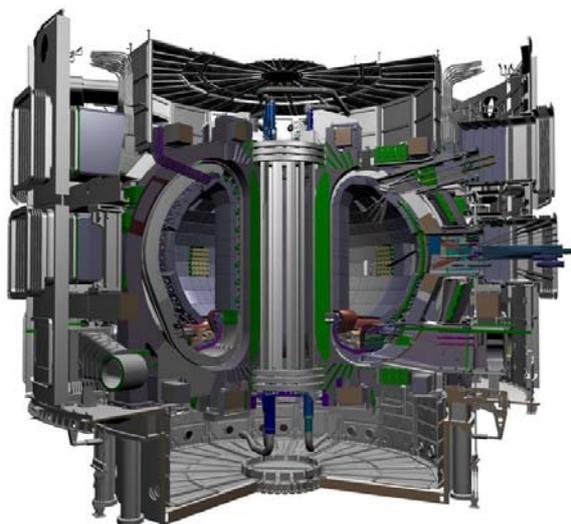


Рис. В-2. Вид в разрезе установки ИТЭР, сооружаемой во Франции с целью исследования возможности производства энергии с использованием термоядерного синтеза. Большие объемы ядерных и атомных данных использовались при проектировании этой установки и будут использоваться для анализа ее работы и экспериментов.

117. В октябре 2012 года в Сан-Диего, США, состоялась 24-я Конференция МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза, в работе которой принимали участие более 850 специалистов из 37 государств-членов и пяти международных организаций. Было представлено около 700 докладов, включая результаты эксперимента на стенке, аналогичной стенке ИТЭР (Рис. В-3) на термоядерной установке Европейского исследовательского проекта «Торус» (JET) в Соединенном Королевстве.

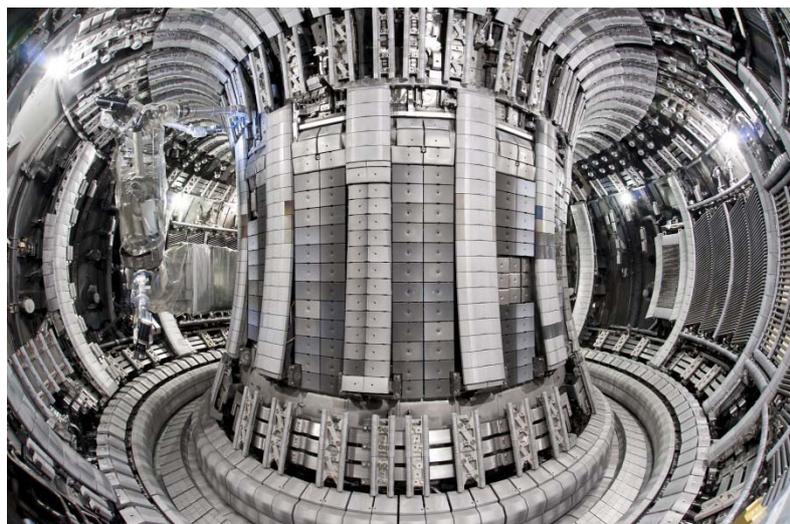


Рис. В-3. Внутренняя часть вакуумной камеры установки JET после завершения монтажа стенки, аналогичной стенке ИТЭР.

118. Ядерные методы анализа материалов становятся все более распространенными, и методы, прежде применявшиеся только в ядерных лабораториях, используются частными отраслями промышленности в стандартном «насто́льном» оборудовании. Этой теме посвящен

ряд международных конференций. 21-я Международная конференция по анализу ионных пучков (IBA) состоится в Сиэтле, США, в июне 2013 года. Агентство завершило проект координированных исследований по базе данных IBANDL, которая предоставляет данные для IBA, и осуществляет еще один проект по сходному методу анализа, использующему индуцированное протонами рентгеновское излучение.

119. Новые установки, генерирующие мощное импульсное рентгеновское излучение, дают возможность получать новые атомные и молекулярные данные. Установка с источником когерентного света на базе линейного ускорителя в Стэнфорде, США, была введена в эксплуатацию в 2009 году, а установка «САКЛИА» в институте РИКЕН Харима, Япония, начала действовать в 2011 году и была открыта для внешних пользователей в 2012 году. Рентгеновское излучение на этих установках используется для облучения различных мишеней – от отдельных атомов и молекул до живых клеток и нанокристаллов. Высокая интенсивность и малая длительность импульсов позволяют изучать материю в экстремальных условиях и исследовать сложные процессы, например, в биомолекулах, на атомном уровне.

120. Национальная установка для термоядерного зажигания (NIF) в Ливерморской национальной лаборатории в США использует 192 мощных лазера, фокусирующих ультрафиолетовое излучение в полости, где оно преобразуется в рентгеновское излучение. На начальном этапе в 2009-2012 годах работа NIF была направлена на достижение положительного энергетического выхода процесса нагревания и сжатия дейтериево-тритиевой таблетки. Предсказанный положительный энергетический выход не был достигнут, и это отчасти указывает на необходимость наличия точных атомных данных для вещества, находящегося в экстремальных условиях. Работа на NIF продолжается.

121. В рамках виртуального центра атомных и молекулярных данных (ВЦАМД) – европейского проекта в области инфраструктуры информационной технологии, первоначально профинансированного на 2009-2012 годы – удалось создать общий интерфейс приблизительно для 20-25 баз атомных и молекулярных данных с применениями в физике плазмы и астрофизике. Интерфейсы и связанные с ними инструменты формирования запросов были основаны на XML схеме для атомов, молекул и твердых частиц (XSAMS), разработанной международной группой, работу которой координирует Агентство. Версия 0.1 была выпущена в 2009 году, а версия 1.0 – в 2012 году. Осуществляется последующий проект по ВЦАМД.

122. Базы данных для атомных и молекулярных процессов все более и более основываются на расчетных данных. На нескольких недавних совещаниях был поднят вопрос о том, что расчетные сечения реакций, так же, как и экспериментальные сечения, имеют определенную погрешность, которая должна быть количественно определена. В сентябре 2012 года в Тэджоне, Корея, было проведено совместное техническое совещание МАГАТЭ-NFRI по оценке данных для процессов атомного, молекулярного взаимодействия и взаимодействия «плазма-материал» при термоядерном синтезе с целью рассмотрения вопросов распространения ошибок и анализа чувствительности, нынешнего состояния баз оцененных данных, оценки наборов теоретических и экспериментальных данных, методов оценки и роли полуэмпирической подгонки. Это первое такого рода совещание играет важную роль в обновлении международной работы по установлению погрешностей и оценке данных для атомных и молекулярных процессов в термоядерном синтезе.

123. В 2013 году в Нью-Йорке, США, будет проведена Международная конференция по ядерным данным для науки и техники. Конференция продемонстрирует работу ученых и инженеров, занимающихся получением или использованием ядерных данных для многочисленных применений.

С. Ускорители и исследовательские реакторы

С.1. Ускорители

124. Электроны, протоны и заряженные частицы других видов ускоряют с целью генерации рентгеновского излучения, нейтронов, пучков заряженных частиц и радиоизотопов для использования в исследованиях и технологиях. Технологии, основанные на использовании ускорителей, расцениваются как основной элемент, обеспечивающий социально-экономическое развитие с большим разнообразием применений в секторах энергетики, здравоохранения, сельского хозяйства, окружающей среды, материалов, природных ресурсов и образования.

125. Разработаны многочисленные ускорители различных конструкций. Они могут различаться по размеру, причем некоторые из них могут разместиться на столе, в то время как другие могут быть длиной несколько десятков километров. Ускорители могут быть линейными или кольцевыми. Они могут генерировать или ускорять пучки заряженных частиц в импульсном или непрерывном режиме с использованием различных методов. Ускорители являются главными инструментальными средствами для самых разнообразных основанных на ядерной физике применений, имеющих важное социальное значение, таких как: производство радиоизотопов, таких как фтор-18, медь-64, углерод-11 и т.д., для изготовления радиофармпрепаратов, используемых в диагностике раковых заболеваний, непосредственное использование пучков частиц для лечения рака, разведка минералов и нефти, производство полупроводниковых кристаллов, стерилизация медицинского оборудования и продуктов питания, датирование артефактов и многие другие. Постоянно исследуются новые возможности применения ускорителей: заметным достижением стало успешное использование медицинского циклотрона для производства технеция-99m – наиболее широко используемого диагностического радионуклида в мире.

Определение характеристик материалов

126. Ядерная технология играет ключевую роль в разработке новых материалов. Ионно-лучевой анализ (ИЛА) является важным инструментом, позволяющим охарактеризовать свойства и функционирование материалов в таких областях, как археология, биомедицина, контроль загрязнения окружающей среды, продовольствие и сельское хозяйство, судебная медицина, промышленность, горная промышленность, изучение объектов культурного наследия и т.д. Методы ИЛА являются обычно неразрушающими; однако облучение ионами может значительно изменять свойства материалов.

127. С радиоизотопами, имеющими продолжительные периоды полураспада и образующимися в результате ядерного деления на конечной стадии ядерного топливного цикла, связаны определенные экологические проблемы. Это привело к активизации НИОКР, направленных на создание технологии уменьшения количества радиоактивных отходов путем трансмутации²⁴ с использованием быстрых ядерных реакторов или систем на основе ускорителей, в том числе в МАГАТЭ, где в рамках проекта по технологическим усовершенствованиям быстрых реакторов и систем с использованием ускорителей осуществляется ряд инициатив.

²⁴ Превращение одного элемента в другой. Трансмутация изучается в качестве средства преобразования долгоживущих радионуклидов в короткоживущие или стабильные радионуклиды.

128. Определение характеристик материалов в реальном времени с использованием синхротронного излучения, нейтронных, ионных и электронных пучков является ценным инструментом, позволяющим решать имеющиеся исследовательские и технологические проблемы использования определенных материалов в энергетических применениях. Лучшее понимание факторов, являющихся результатом использования или старения и ухудшающих характеристики материалов, способно помочь решению этих проблем. Разработка более сложных материалов, например, материалов, сводящих до минимума потребление энергии, может помочь уменьшить давление на природные ресурсы Земли и ограничить давление на окружающую среду. Ускоренные частицы могут играть важную роль в разработке этих новых материалов: ионы ускорителей ионных пучков могут использоваться для моделирования радиационного повреждения материалов в ядерных или термоядерных реакторах; они могут также использоваться для создания новых материалов методом ионной имплантации; наконец, они могут использоваться для анализа этих материалов. Созданные образцы новых материалов имеют малые размеры и поэтому называются «модельными материалами». Для того, чтобы обеспечить рентабельность, после создания этих материалов необходимо разработать альтернативные и более простые методы их производства. Определение характеристик производственного процесса на месте и в реальном времени может облегчить это, обеспечивая лучшее понимание всех необходимых шагов.



Рис. С-1. Разработка новой ионной пучковой линии для проверки радиационной стойкости электронных устройств на циклотроне У400М в Объединенном институте ядерных исследований (Российская Федерация).

Элементная и молекулярная визуализация с помощью ионных пучков

129. В последние годы масс-спектрометрия вторичных ионов (SIMS) превратилась в мощный аналитический инструмент элементного анализа, особенно в таких материалах, как полупроводники. Недавно этот инструмент был использован для получения изображений молекулярной концентрации (карт) поверхностей с высокой разрешающей способностью, при поперечном разрешении менее одного микрона. Новые разработки в области профилирования молекулярных материалов по глубине могут, в конечном счете, обеспечить возможность получения полного трехмерного изображения анализируемого материала. Однако недостатком этого метода является то, что анализ должен проводиться в вакууме. Имеющиеся в настоящее время методы масс-спектрометрии при атмосферном давлении, в том числе методы, основанные на лазерной десорбции/ионизации с использованием матрицы (MALDI), непосредственном анализе в режиме реального времени (DART) и десорбции с ионизацией электрораспылением (DESI), изменили диапазоны пространственного разрешения, как показано в Таблице С-1. На пределы обнаружения может также, наряду с прочим, влиять выбор используемого растворителя. Другой недостаток заключается в том, что некоторые методы могут приводить к разрушению молекулярной информации. До настоящего времени никакой из методов масс-спектрометрии не обеспечивал получения молекулярных карт больших масс при нормальном давлении с высоким пространственным разрешением.

130. Масс-спектрометрия вторичных ионов в мегаэлектронвольтовом диапазоне (MeV-SIMS) недавно появилась в качестве метода, позволяющего получать информацию как о химическом, так и об элементном составе. В этом методе используются тяжелые ионы мегаэлектронвольтового диапазона, ускоряемые ускорителями ионов и фокусируемые в ядерной микрондовой установке. Вторичные молекулярные ионы, испускаемые облучаемой поверхностью образца, детектируются с помощью времяпролетного (ToF) метода. Применение MeV-SIMS может дать хорошие результаты при получении изображений органических молекул, особенно в биомедицинских, связанных с культурным наследием и судебной экспертизой исследованиях.

131. Ионы мегаэлектронвольтовых энергий можно выводить из вакуумной системы в воздух через тонкое окошко. Этот метод широко использовался в прошлом при проведении элементного анализа объектов в обычных условиях с использованием традиционных методов анализа ионных пучков. Система молекулярной визуализации высокого разрешения при обычном давлении позволяет добиться улучшенных результатов в ряде ключевых областей. К ним относятся: датирование археологических находок, геологические науки и науки об окружающей среде, судебная экспертиза и биомедицинские науки. В Таблице С-1 приведено сравнение некоторых ведущих методов молекулярной визуализации.

Таблица С-1. Сравнение некоторых ведущих методов молекулярной визуализации [Spoto, G. and Grasso, G., Spatially resolved mass spectrometry in the study of art and archaeological objects, *Trends in Analytical Chemistry*, 2011, 30, 856–863]

Информация	MALDI MS	SIMS	Масс-спектрометрия в нормальных условиях окружающей среды	НаноSIMS	Мегаэлектронвольтовая SIMS	LA-ICP-MS
Пространственное разрешение	10 мкм	> 200 нм для органических веществ	>50 мкм Ведутся разработки для субмикронного диапазона.	50 нм	1 мкм	>100 мкм
Размер обнаруживаемых молекул	До ~150 кДа (большие белки)	До ~2 кДа (небольшие пептиды)	До ~50 кДа (средние белки)	элементный	До ~10 кДа (большие пептиды)	элементный
Способность получать трехмерные изображения	Подлежит разработке	Да (разрешение по глубине 5 нм)	Возможна разработка	Да	Возможна разработка	В определенной степени
В нормальных условиях окружающей среды и реальном времени	В определенной степени (AP-MALDI)	✗	✓	✗	✓	✗
Портативный	Имеется в настольном исполнении	✗	✓	✗	✗	✗
Количественный	С внутренними эталонами, но представляет трудности	Относительное количественное определение	С внутренними эталонами	Возможно с изотопным мечением	Неизвестно	✓

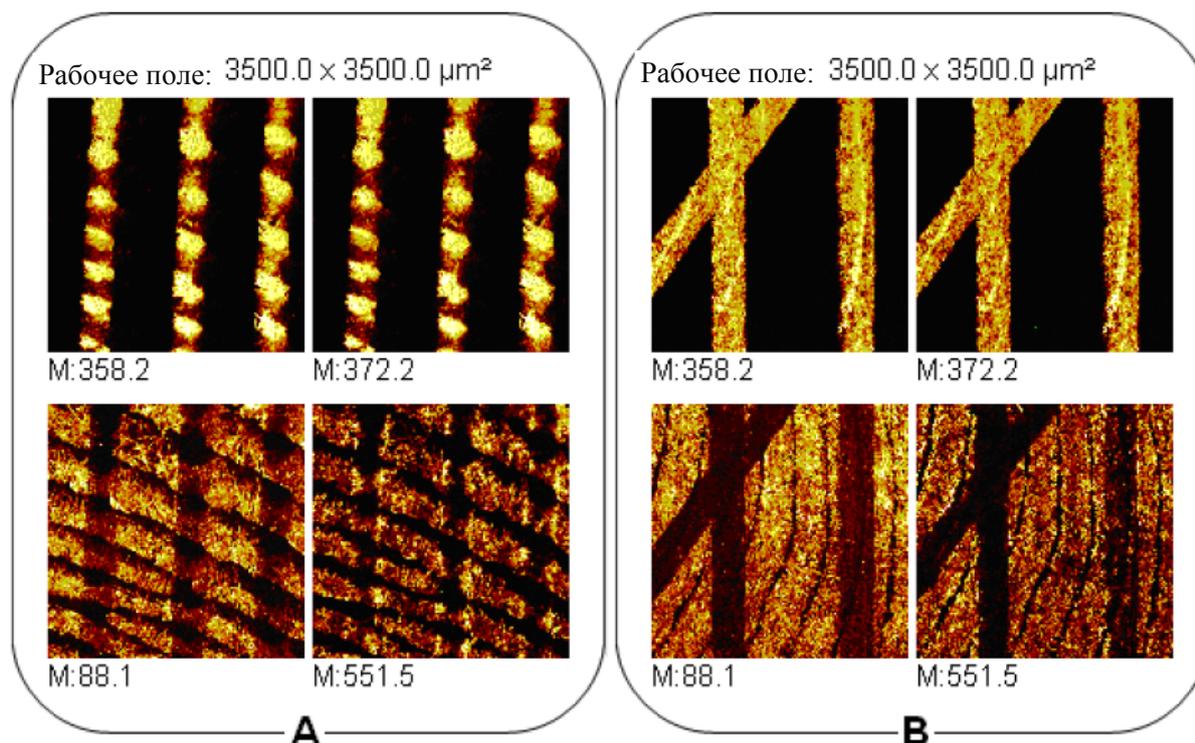


РИС. С-2. Полученные методом ToF-SIMS с использованием положительных ионов диапазона кэВ изображения отпечатка пальца с осаждением (А) после нанесения чернил и (В) перед нанесением чернил на бумажную подложку. N.J. Bright, R.P. Webb, S. Bleay, S. Hinder, N.I. Ward, J.F. Watts, K.J. Kirkby & M.J. Bailey, *Analytical Chemistry*, 4083–4087, (2012).

132. В протоколе, опубликованном в 2012 году, обычный метод отображения ToF-SIMS в кэВ диапазоне используется для определения того, был ли отпечаток пальца сделан до или после того, как была проведена линия чернилами. Изображения на рис. С-2 показывают различия между этими двумя случаями, используя массовые пики, связанные с чернилами и отпечатком пальца. Рисунок С-2 А показывает, что когда отпечаток пальца нанесен поверх имеющейся чернильной линии, молекулы чернил (M:358.2 и 372.2), соответствующие краскам, маскируются в областях, где обнаружены пики, связанные с отпечатком пальца (определенные из M:88.1 и 551.5). Рисунок С-2 В показывает, что когда чернильная линия пересекает отпечаток пальца, уже осажденный на бумаге, ионы, характерные для молекул чернил (M:358.2 и 372.2), оказывают маскирующее воздействие и не позволяют обнаружить ионы, характерные для молекул отпечатка пальца (определенные из M:88.1 и 551.5).

С.2. Исследовательские реакторы

133. Исследовательские реакторы включают широкий диапазон различных типов реакторов, которые обычно не используются для производства электроэнергии. Исследовательские реакторы используются прежде всего в качестве нейтронных источников в научных исследованиях и различных применениях, включая образование и обучение. Они имеют малые размеры по сравнению с энергетическими реакторами, главная функция которых – производить электроэнергию. Мощность исследовательских реакторов измеряется в мегаваттах, и ее уровни могут быть различными – от нуля (например, в случае критической сборки) до 200 МВт (тепл.), по сравнению с 3000 МВт (тепл.) (т.е. 1000 МВт (эл.)) для типичного большого энергетического реактора.

134. По состоянию на январь 2013 года во всем мире в эксплуатации находятся 247 установок с исследовательскими реакторами. Кроме того, 15 исследовательских реакторов находились в режиме временного останова, а 150 – в режиме долгосрочного останова. Из числа находящихся в эксплуатации реакторов, 49 являются высокомошными; они работают на высоких уровнях мощности и создают высокие нейтронные потоки. Еще 304 исследовательских реактора были выведены из эксплуатации. Продолжается строительство еще четырех реакторов, из которых два находятся во Франции (реактор «Жюль Хоровиц» и реактор RES), один в Иордании (подкритическая установка) и один в Российской Федерации (реактор ПИК)²⁵. И наконец, были официально запланированы шесть проектов исследовательских реакторов, соответственно в Аргентине (RA-10), Бельгии (MYRRHA), Бразилии (RMB), Иордании (JRTR), Нидерландах (PALLAS) и Российской Федерации (МБИР). Пять проектов были отменены до 2012 года. Распределение возраста, уровней мощности и использования находящихся в эксплуатации исследовательских реакторов показано на рисунках С-5 и С-3 и в Таблице С-2 соответственно.

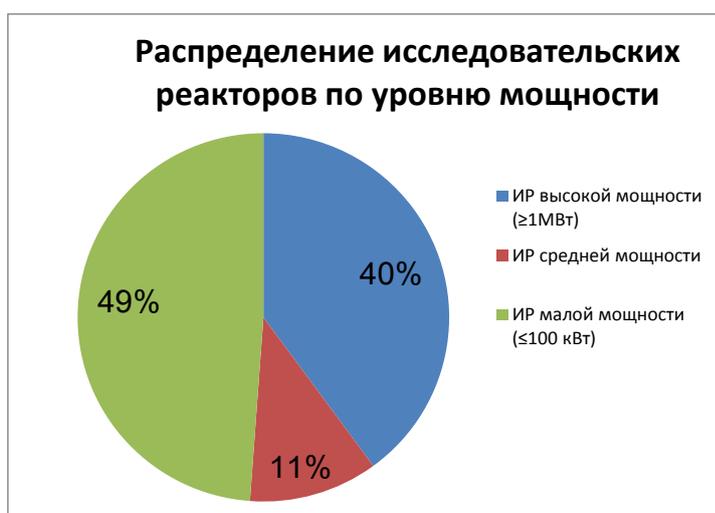


РИС. С-3. Распределение действующих исследовательских реакторов по номинальной мощности (источник: База данных МАГАТЭ по исследовательским реакторам, по состоянию на август 2012 года).

²⁵ Согласно базе данных Агентства по исследовательским реакторам (<http://nucleus.iaea.org/RRDB/>), в которой содержатся данные о современных и ранее находившихся в эксплуатации исследовательских реакторах.

Таблица С-2. Применение исследовательских реакторов во всем мире

Тип применения	Число соответствующих исследовательских реакторов	Государства-члены, в которых находятся используемые установки
Производство изотопов	92	45
Нейтронное рассеивание	50	33
Нейтронная радиография	71	40
Облучение материалов	70	28
Трансмутация (драгоценные камни)	20	11
Трансмутация (легирование Si)	29	19
Обучение/подготовка кадров	165	53
Нейтронно-активационный анализ (НАА)	124	54
Геохронология	25	21
Бор-нейтрон-захватная терапия (БНЗТ), включая НИОКР	22	12
Другие ^b	103	31

^a Из 252 рассмотренных ИР (229 в эксплуатации, 15 временно остановлены, 4 в стадии строительства и 4 запланированы; август 2012 года).

^b К другим применениям относятся калибровка и тестирование контрольно-измерительных приборов и дозиметрия, эксперименты с биологической защитой, эксперименты по реакторной физике, измерения ядерных данных и поездки и семинары по программам связей с общественностью.

135. Пятнадцать государств-членов рассматривают возможность строительства новых исследовательских реакторов или планируют его. В частности, Азербайджан, Саудовская Аравия, Судан и Тунис находятся на ранней стадии планирования строительства исследовательских реакторов. В Иордании началось строительство многоцелевого исследовательского реактора мощностью 5 МВт, в то время как Вьетнам планирует построить новый исследовательский реактор в качестве части всеобъемлющего коммерческого контракта по строительству атомной электростанции. Страны, в которых осуществляются ядерно-энергетические программы – такие, как 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 целей²⁶.

²⁶ Недавняя публикация Агентства *Конкретные соображения и рубежи проекта создания исследовательского реактора* (Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии № NP-T-5.1) помогает государствам-членам в этой области.



РИС. С-4. В 2012 году китайский усовершенствованный исследовательский реактор был выведен на номинальную мощность 60 МВт и проработал в общей сложности около 70 часов. В итоге после получения первой картины рассеяния нейтронов требуемого качества было введено в эксплуатацию 5 приборов с нейтронными пучками.



РИС. С-5. Распределение эксплуатируемых исследовательских реакторов по срокам эксплуатации.

136. По мере вывода из эксплуатации более старых исследовательских реакторов и замены их меньшим числом многоцелевых реакторов ожидается дальнейшее сокращение количества эксплуатируемых исследовательских реакторов и критических установок. Для обеспечения широкого доступа к этим установкам и их эффективного использования потребуется более активное международное сотрудничество. В 2012 году существующие региональные сети и коалиции исследовательских реакторов при содействии Агентства²⁷ внесли вклад в развитие этого сотрудничества и оказали помощь в расширении круга пользователей исследовательских реакторов.

²⁷ Агентством было образовано несколько разных коалиций исследовательских реакторов в странах Балтии, Карибского бассейна (включая страны Латинской Америки), Центральной Африки, Центральной Азии, Восточной Европы и Средиземноморья.

137. В 2012 году Агентством было начато оказание нового вида услуг - услуг по оценке эксплуатации и обслуживания исследовательских реакторов (ОМАРР) - для проведения комплексных экспертных рассмотрений эксплуатации и обслуживания исследовательских реакторных установок; проверки соблюдения действующих на станциях процедур; подготовки предложений по внесению усовершенствований; и содействия взаимной передаче знаний и опыта между экспертами миссии и персоналом реакторов. Первая миссия ОМАРР, в преддверии которой в июне 2012 года состоялось совещание, была проведена в декабре 2012 года на реакторе Центра нейтронных исследований при Национальном институте стандартов и технологий США. В октябре 2012 года также состоялось совещание в преддверии миссии ОМАРР на реакторе TRIGA в Университете Павии, Италия. Проведение собственно миссии ожидается в 2013 году.

138. На протяжении всего 2012 года ИСГУ продолжала проведение миссии в целях минимизации присутствия высокообогащенного урана (ВОУ) в мировом гражданском ядерном секторе. В 2009 году охват ИСГУ был расширен со 129 исследовательских реакторов, работающих на ВОУ топливе, до примерно 200 реакторов, и к концу 2012 года 82 из них были либо переведены на НОУ топливо, либо остановлены до перевода. К примеру, в Мексике исследовательский реактор TRIGA MARK III был переведен с ВОУ на НОУ топливо, и в марте 2012 года последнее ВОУ топливо было переведено обратно в США. В Польше в сентябре 2012 года исследовательский реактор «Мария» прошел процесс полной конверсии с использованием специально разработанного НОУ топлива. В декабре 2012 года после полного перевода венского реактора TRIGA на НОУ топливо ИСГУ объявила об окончательном удалении всего ВОУ из Австрии. Безопасное возвращение австрийского топлива в страну происхождения ознаменовало собой окончательный вывод всего ВОУ топлива реакторов TRIGA из гражданского оборота.



РИС. С-6. Активная зона исследовательского реактора типа Triga Mark-II на НОУ топливе в Венском техническом университете. Реактор был переведен с ВОУ на НОУ в 2012 году.

139. При поддержке Агентства ряд государств-членов вернули ВОУ топливо исследовательских реакторов в страну происхождения. В рамках Программы по возвращению российского топлива для исследовательских реакторов (RRRFR) продолжается работа по безопасному возвращению свежего и отработавшего ВОУ топлива в Российскую Федерацию. В

2012 году Агентство оказало содействие в возвращении почти 110 кг свежего ВОУ топлива из Харьковского физико-технического института, Украина, и примерно 20 кг отработавшего ВОУ топлива из Института ядерных исследований в Киеве после перевода его исследовательского реактора с ВОУ на НОУ топливо. В августе и сентябре 2012 года было проведено еще две операции по возврату почти 100 кг отработавшего ВОУ топлива из Узбекистана и Польши. Из Польши была также благополучно вывезена еще одна партия топлива - около 27 кг свежего ВОУ. Китай продолжал работы по переводу своего малогабаритного реактора - источника нейтронов (МРИН) с ВОУ на НОУ, и он планирует совместную работу с государствами-членами, которые приобрели такие реакторы, по оказанию им помощи в конверсии реакторов и возвращении ВОУ топлива.

140. Переход на НОУ и возвращение ВОУ топлива нередко сопровождаются серьезными шагами по модернизации инфраструктуры. Например, на Украине в Харьковском физико-техническом институте при финансовой и технической поддержке, оказываемой после возвращения всего ВОУ в Российскую Федерацию, идет сооружение подкритической установки с ускорителем, работающей на НОУ. Предполагается, что она будет введена в эксплуатацию в 2014 году.

141. В течение 2012 года, проблемы с поставками, имевшие место в последние несколько лет, были наконец решены и объемы производства вернулись к норме, хотя остаются вопросы в отношении поставок в среднесрочной и долгосрочной перспективе. В этот период с удвоенной энергией продолжалась конверсия процессов производства медицинских изотопов с ВОУ на НОУ. Австралия объявила об увеличении мощностей по производству молибдена-99 на основе НОУ для удовлетворения примерно 25% мирового спроса. Для выхода на эти объемы производства к 2016 году будет построен новый завод по производству материалов для ядерной медицины на экспорт, а при нем - завод по обработке дополнительных отходов, вырабатываемых в результате расширения производства молибдена-99, методом «Синрок»²⁸. Южная Африка продолжала промышленное производство молибдена-99 с использованием мишеней из НОУ, а также перевод производственных процессов на исключительное использование НОУ, а два крупных производителя медицинских изотопов (Бельгия и Нидерланды) также приступили к реализации планов конверсии своих процессов промышленного производства с ВОУ на НОУ. Наконец, Индонезия в конце 2011 года полностью перешла на использование НОУ при мелкомасштабном производстве медицинских изотопов.

142. Для конверсии высокопоточных и высокоэффективных исследовательских реакторов требуется усовершенствованное уран-молибденовое топливо очень высокой плотности, которое разрабатывается в настоящее время. Несмотря на значительный прогресс в разработке и аттестации уран-молибденового топлива, достигнутый до 2012 года, для обеспечения своевременной коммерческой доступности аттестованного НОУ топлива очень высокой плотности необходимы дальнейшие усилия и испытания, особенно в контексте программ облучения и послереакторного исследования топлива, а также в области производственных методов.

²⁸ «Синрок» - это австралийская технология, в которой используется изостатическое прессование для уменьшения объема побочных ядерных продуктов на 99% (по сравнению с другими методами, такими, как цементирование).

143. После конверсии соответствующих реакторов TRIGA было отмечено увеличение мирового спроса на топливо TRIGA. В 2010 году на конференции по проблемам топлива исследовательских реакторов²⁹ компания «ТРИГА интернэшнл» объявила, что слабое экономическое обоснование поставок топлива ограничивает ее способность поставлять топливо в долгосрочной перспективе. С тех пор цены на топливо резко возросли, что поставило под угрозу текущую эксплуатацию нескольких из 38 действующих по всему миру реакторов TRIGA.

144. В 2012 году МАГАТЭ продолжало содействовать дальнейшему использованию исследовательских реакторов в учебно-образовательных целях. Эти проекты предполагали поиски путей увеличения числа и расширения ассортимента предлагаемых учебных курсов и использование исследовательских реакторов в базовом научном образовании.

Д. Новые технологии повышения продовольственной безопасности и безопасности пищевых продуктов

Д.1. Разработка стратегий и технологий для обеспечения готовности к ядерным и радиологическим аварийным ситуациям, затрагивающим продовольствие и сельское хозяйство, и реагирования на них

145. При выработке стратегии обеспечения готовности к потенциальным ядерным или радиологическим аварийным ситуациям, которые могут затронуть продовольствие и сельское хозяйство, и реагирования на них следует учитывать множество факторов. Хотя общий подход и имеет свои преимущества, в любой эффективной стратегии должны учитываться местные, специфические для данного района условия.

146. Во время аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС "Фукусима-дайити" в окружающую среду произошел выброс радионуклидов. В Фукусиме в почве и растениях были обнаружены высокие уровни содержания радиоактивного цезия и йода, и при помощи программы мониторинга пищевых продуктов были получены данные, из-за которых 21 марта 2011 года было введено первое ограничение на продажу определенных продуктов. Авария на АЭС "Фукусима-дайити", как и чернобыльская авария, ясно свидетельствует о крайней важности того, чтобы как можно скорее после события были применены унифицированные полевые и лабораторные методы с использованием последовательных протоколов отбора проб и стратегий анализа пищевых продуктов и почв.

²⁹ Международное тематическое совещание по обращению с топливом исследовательских реакторов - 2010 организовано Европейским ядерным обществом (ЕЯО) в сотрудничестве с МАГАТЭ в Марракеше, Марокко, 22-25 марта 2010 года.

D.1.1. Аварийная готовность и реагирование: необходимость применения унифицированных аналитических процедур и протоколов отбора проб

147. После любого события, приведшего к выбросу радиоизотопов в окружающую среду, должны быть применены стратегии отбора проб для обнаружения представляющих интерес радиоизотопов и установления масштабов и пространственного распределения загрязнения. Во избежание неточных сравнений содержания радионуклидов следует использовать стандартный подход на базе соответствующей исходной информации. Например, при загрязнении сельскохозяйственных земель выбираемая глубина отбора проб почвы (верхний слой или корнеобитаемый слой) должна быть одинаковой.



РИС. D-1. Отбор проб почвы на загрязненных рисовых полях; публикуется с разрешения Министерства сельского, лесного и рыбного хозяйства, Япония.

148. Отсутствие унифицированных протоколов для полевого отбора проб и методов лабораторного анализа может также стать причиной несопоставимости данных, что затруднит принятие правильных решений. Например, вымывание радионуклидов с поверхности листовых овощных культур может повлиять на количество обнаруживаемых радионуклидов, а использование неодинаковых лабораторных процедур (вымывтые или невымытые образцы) может усложнить интерпретацию данных, применяемых для введения ограничений на продажу пищевых продуктов.

149. По этой причине важно, чтобы органы продовольственного и сельскохозяйственного контроля пользовались унифицированными протоколами и процедурами. Эти процедуры должны разрабатываться с таким расчетом, чтобы обеспечивать отбор статистически значимого числа проб, с надлежащим временным и пространственным распределением, для разных типов почв и пищевых продуктов. Должны быть подготовлены инструкции, помогающие определить значимость аналитической неопределенности, тип используемого аналитического оборудования и используемую методологию (например, анализ в полевых или лабораторных условиях), включая места отбора проб (в поле, на пунктах сбора, при транспортировке, на оптовых базах, в розничных торговых точках или на рынках).



РИС. D-2. Методы испытаний для мониторинга радионуклидов в полевых условиях, Грабенегг, Австрия [МАГАТЭ, 2012 год].

D.1.2. Обработка и интерпретация данных отбора проб

150. Большой объем данных, получаемый при отборе проб пищевых продуктов, может создать немалые трудности организационно-технического плана. При сборе больших объемов данных важное значение имеют описательные метаданные (данные об информационном наполнении) и создание и систематизация реляционных баз данных. Это помогает сохранить высокое качество данных, позволяет составить подробные карты и отобразить данные в графическом виде и дать точную информацию правительствам, потребителям и регулирующим органам.

151. Еще одна проблема управления данными связана с глубиной и степенью географического разрешения у разных массивов данных. Например, важно, чтобы пробы пищевых продуктов и пробы почв, связанные с районами производства, имели аналогичное геопространственное разрешение (привязку к местности) для наложения и более точного представления данных. В этой связи ценность данных для пользователей во всем мире может быть повышена при помощи глобальных систем определения местоположения (ГСОМ) за счет включения в эти данные географической информации. Эта информация также облегчает проведение дополнительного отбора проб в тех же местах, позволяя отслеживать изменение концентраций радионуклидов в пище и почве с течением времени.

D.1.3. Отображение данных

152. Отображение данных - это важная работа, которую можно облегчить при помощи обследований почвы, воздуха и воды на предмет накопления в них радионуклидов после крупных аварий, например когда результаты воздушных и наземных обследований объединяются для отображения пространственного распространения выпавших радиоактивных осадков. Эта информация, наряду с данными мониторинга почвы и пищевых продуктов, необходима для установления загрязненных районов, получения более ясной картины загрязнения и выбора оправданных в техническом и социально-экономическом отношении вариантов действий по восстановлению сельскохозяйственного производства. Эти данные также облегчают применение сельскохозяйственных контрмер, имеющих целью скорейшую передачу полезных рекомендаций, включая введение ограничений на продажу и потребление конкретных видов сельскохозяйственной, лесной и рыбной продукции.

153. Наземный мониторинг может также эффективно осуществляться при помощи детекторов гамма-излучения, установленных на соответствующем автотранспорте, или их портативных аналогов. Оборудование такого типа должно иметь модуль ГСОМ для регистрации мест отбора проб, что позволяет быстро установить критические точки загрязнения и принять оперативные и правильные решения. Мобильный мониторинг в полевых условиях может также облегчить задачу установления зон, в которых может потребоваться дополнительный детальный отбор проб и наблюдение. К числу недавних достижений относится объединение данных о привязке к местности с технологиями геопространственного отображения данных для оперативной передачи информации руководящим органам и общественности.

D.1.4. Выводы

154. Уверенное руководство со стороны ответственных органов во время и после катастроф, включая ядерные аварии, имеет решающее значение. Оно предполагает учет извлеченных уроков и разработку стратегий и технологий для повышения степени готовности к ядерным и радиологическим аварийным ситуациям и улучшения реагирования на них в будущем.

155. Необходимо разработать методы полевых и лабораторных исследований для унификации протоколов отбора проб и аналитических стратегий (включая почвы, сельскохозяйственные товары и пищевые продукты) и программ контроля для мониторинга сельскохозяйственной продукции. Кроме того, необходимо улучшить положение дел с представлением данных о продовольствии и сельском хозяйстве и управлением ими. Это становится особенно сложной задачей, когда каким-либо событием оказались затронуты многие страны и необходим согласованный подход к сбору данных и управлению ими. В подготовке оперативных и точных данных помогут и современное оборудование и программное обеспечение, чтобы регулирующие органы в своих решениях относительно мер реагирования могли опереться на самую точную информацию, какая имеется в наличии.

156. В заключение следует отметить, что для восстановления сельскохозяйственного производства и обеспечения безопасности пищевых продуктов необходимо разрабатывать и осуществлять практические, оперативные, эффективные и согласованные меры реагирования. Осуществление этих мер облегчит сбор точных и надлежащих данных при реагировании на будущее чрезвычайное происшествие, что даст возможность применить научно обоснованные контрмеры и стратегии восстановительных мероприятий для устранения неопределенности и восстановления уверенности в отношении поставок продовольствия.

D.2. Новые применения технологий облучения пищевых продуктов

157. Та роль, которую облучение пищевых продуктов играет в улучшении качества пищи, обеспечении безопасности продуктов и уменьшении риска заболеваний пищевого происхождения, известна на протяжении многих лет, и потенциал этой технологии очевиден. Облучение пищевых продуктов может сыграть ключевую роль в решении этих задач благодаря уменьшению порчи продуктов, сокращению потерь и отходов и предупреждению распространения насекомых-вредителей, имеющих экономическое значение, а также предоставлению доступа на выгодные экспортные рынки.

158. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), около трети (1,3 млн тонн) всего продовольствия, производимого для потребления человеком, ежегодно портится или выбрасывается. Кроме того, по оценкам Всемирной организации здравоохранения, заболевания, передаваемые через пищу и воду, ежегодно становятся причиной смерти 2,2 млн человек, из которых свыше 1,9 миллиона - это дети³⁰. Таким образом, сокращение потерь и отходов пищевых продуктов и улучшение качества и безопасности пищи благодаря безопасному применению технологий облучения может дать прямой и существенный положительный эффект с точки зрения глобальной продовольственной безопасности. Экспорт и продажа облученных продуктов растут по мере того, как эта технология получает все более широкое признание и подкрепляется международными стандартами.

D.2.1. Технология облучения пищевых продуктов

159. Облучение пищевых продуктов - это одна из немногих технологий, которая решает одновременно и проблему качества, и проблему безопасности продовольствия благодаря своей способности бороться с порчей и патогенными микроорганизмами, передаваемыми через пищу (путем их инактивации и уничтожения), а также с вредными насекомыми-вредителями (путем лишения их способности к размножению) без особого ущерба для органолептических и полезных свойств пищи. Обработка продуктов облучением дает те же преимущества, что и альтернативные процессы, такие, как нагревание, охлаждение, замораживание или химическая обработка, но без существенного повышения температур пищи и образования потенциально вредных остатков. Облучение может использоваться также для обеспечения сохранности упакованных продуктов благодаря предотвращению взаимного микробиологического загрязнения после обработки.



РИС. D-3. Исследователи в Центре по применению изотопных и радиационных технологий при Национальном агентстве по ядерной энергии в Джакарте, Индонезия, подготавливают облученные и готовые к употреблению продукты для людей с ослабленной иммунной системой, тем самым внося разнообразие в их рацион и сводя к минимуму риски заболеваний пищевого происхождения [МАГАТЭ, 2012 год].

³⁰ Безопасность пищевых продуктов - доклад Секретариата для шестидесяти третьей сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения (A63/11), 25 марта 2010 года, http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA63/A63_11-ru.pdf

160. При облучении пищевых продуктов пища подвергается воздействию ионизирующего излучения в контролируемых условиях. Согласно международно признанным стандартам Объединенной комиссии ФАО/ВОЗ по Codex Alimentarius и Международной конвенции по карантину и защите растений, для продовольственных применений могут использоваться гамма-лучи, электронный пучок (ЭП) и рентгеновские лучи. Различные типы ионизирующего излучения имеют неодинаковые свойства и, следовательно, разные технологические преимущества и недостатки, но в целом определенная доза гамма-, электронно-пучкового или рентгеновского облучения производит один и тот же эффект - инактивирует патогенные и вредные организмы, задерживает созревание и лишает насекомых способности к размножению.

161. Технология облучения пищевых продуктов претерпела большие изменения с тех пор, как она была предложена в начале 1900-х годов, и с тех пор, как в 1950-х годах была разработана технология создания мощных источников излучения, и сегодня она включает в себя новые применения ионизирующего излучения и различные методы обработки, например в сочетании с холодом или модифицированной атмосферой.

162. В настоящее время облучение пищевых продуктов практикуется в основном в Азиатско-Тихоокеанском регионе и странах Северной и Южной Америки, но в общемировом масштабе облучательных установок для обработки пищевых продуктов по-прежнему используется недостаточно. Ионизирующее излучение применяется главным образом для стерилизации медицинских инструментов и фармацевтических препаратов, обеспечения сохранности артефактов, обработки косметики и упаковочных материалов и улучшения материалов, из которых изготавливаются потребительские и промышленные товары. Большинство установок являются многоцелевыми и используются для обработки широкого круга продуктов, и, хотя некоторую долю обрабатываемых на них материалов и может составлять продовольствие, лишь считанные установки реально способны генерировать сравнительно малые дозы (0,1-10 кГр), которые используются для обработки пищи.

163. Сегодня большинство облученных продуктов обрабатывается гамма-излучением. К примеру, в Китае примерно из 170 установок для облучения пищевых продуктов свыше 95% работают на гамма-лучах. С установками по облучению пищевых продуктов в странах Европейского союза ситуация аналогична: 26 из них работают на гамма-излучении и 6 - на электронном пучке. Однако использование электронных пучков становится в мире все более популярным, и у научных лабораторий и крупных промышленных предприятий растет интерес к использованию электронных пучков и рентгеновских лучей для обработки пищевых продуктов.

D.2.2. Источники излучения

164. На радиоизотопных облучательных установках для получения гамма-лучей используются радиоизотопы кобальт-60 или цезий-137. На промышленных установках и на большинстве облучателей, применяемых в научных исследованиях, используется кобальт-60 ввиду более высоких энергий гамма-излучения и его изначальной стабильности как металла, но на некоторых исследовательских облучателях используется цезий-137, у которого больше период полураспада. Одним из недостатков гамма-излучения является то, что его нельзя «выключить», и поэтому для получения полной экономической отдачи от радиоактивного материала установка должна работать непрерывно. Кроме того, радиоактивный распад означает, что продолжительность времени, в течение которого пища подвергается воздействию ионизирующего излучения, приходится каждый месяц увеличивать на несколько процентов, а в радиоактивный источник требуется периодически добавлять дополнительные количества радиоизотопа для поддержания приемлемого уровня эффективности обработки. Эти установки должны проектироваться таким образом, чтобы обеспечивать надежную герметизацию

мощного источника радиоизотопов, но в то же время быть сравнительно простыми в эксплуатации.

165. Установки с ускорителем заряженных частиц, т.е. те, которые генерируют электронные пучки или рентгеновские лучи, используют электричество для получения ионизирующего излучения, и поэтому одним из их преимуществ по сравнению с радиоизотопными установками является то, что, когда они не нужны, их можно выключить. Электронные пучки получают путем ускорения потока электронов при помощи магнитного и электрического полей. Они генерируют дозу с большой скоростью, и менее чем за секунду могут выдать дозу такой силы, на которую гамма-облучательной установке потребуется несколько часов. Однако глубина проникновения электронного пучка в пищевой продукт не столь велика, как у гамма-лучей, и поэтому он непригоден для обработки крупнооптовых партий продовольствия за один раз. Пучками можно обрабатывать мелкооптовые партии упакованных товаров с весьма высокой скоростью. Электронные пучки уже используются в промышленных применениях в медицине, модификации материалов и природоохранной сфере, но лишь небольшое число таких установок рассчитано на эффективную обработку пищевых продуктов, и для дальнейшего развития электронно-пучковой технологии для продовольственных применений необходимо проведение исследований.

166. Рентгеновское излучение возникает, когда электроны при столкновении с мишенью из металла, например тантала, вольфрама или золота, ускоряются, образуя поток рентгеновских лучей. Хотя значительная часть энергии может быть потеряна в виде тепла, рентгеновское облучение становится все более популярным, поскольку имеет более высокую проникающую способность, чем электронные пучки, и поэтому может использоваться для облучения крупнооптовых партий, не требуя наличия радиоактивного источника. На одной из установок на Гавайских островах рентгеновские лучи используются для облучения свежей плодоовощной продукции, экспортируемой в континентальную часть США, а на одной из крупных установок в Швейцарии этот метод применяется теперь для стерилизации медицинских инструментов. По мере появления нового поколения рентгеновских аппаратов с более высокой эффективностью и более совершенной конструкцией вполне вероятно, что в будущем технология рентгеновского облучения получит еще более широкое распространение.

Таблица D-1. Сравнение радиоизотопных облучателей и облучателей с ускорителем заряженных частиц

	Радиоизотопное облучение	Облучение при помощи ускорителя заряженных частиц	
Применение	Продукты подвергаются воздействию гамма-излучения	Продукты сканируются электронным пучком	Продукты подвергаются воздействию рентгеновского излучения
Источник	Источник излучения - радиоактивный изотоп (обычно кобальт-60)	Источник излучения - аппарат с электропитанием.	
Проникающая способность	Сильнопроникающее излучение (пригодно для грузовых поддонов с продовольствием)	Ограниченная проникающая способность (пригодно для коробок с продовольствием)	Сильнопроникающее излучение (пригодно для грузовых поддонов с продовольствием)
Время обработки	Разумное время обработки (минуты/часы)	Очень быстрая обработка (секунды/минуты)	Среднее время обработки (минуты/часы)
Во время простоя	Всегда включен и во время простоя должен быть переведен в безопасный режим.	Может быть выключен, и тем самым сэкономлена электроэнергия.	
Стадия развития	Отработанная технология, используется в научных исследованиях и в промышленности.	Нуждается в доработке для продовольственных применений. Используется в научных исследованиях и в промышленности, но в основном для непродовольственных товаров.	Технология находится в процессе развития. Нуждается в доработке для продовольственных применений. Применяется в некоторых научных исследованиях и на нескольких промышленных установках.
Популярность	На установках этого типа обрабатывается большинство облученных продуктов.	Электронным пучком обрабатываются некоторые продукты.	Рентгеновские лучи для облучения продуктов используются на одной промышленной установке.
Обслуживание	Со временем источник излучения ослабевает и нуждается в пополнении.	Требуется стабильное электропитание, и аппарат нуждается в техническом обслуживании.	



РИС. D-4. Подготовка безопасных продуктов к экспорту за рубеж при помощи технологии гамма-облучения, Ханой, Вьетнам [К. Блэкберн, 2012 год].

D.2.3. Тенденции

167. Доставка источников радиоизотопов во многие части мира оказывается непростой задачей из-за опасений, связанных с терроризмом, и возрастающих технических сложностей, сопряженных с их трансграничной перевозкой. Одна из главных причин роста интереса к электронно-пучковой и рентгеновской технологии состоит в том, что она позволяет избежать проблем закупки, транспортировки, хранения, утилизации и гарантий, связанных с источниками радиоизотопов. Дополнительный плюс аппаратных технологий с точки зрения облучения пищи заключается в том, что в них не используется радиоактивный материал, подразумевающий излучение ядерной энергии, и поэтому они не вызывают к себе негативного отношения потребителей. В этой связи предполагается, что технологии электронно-пучкового и рентгеновского излучения получат развитие как альтернативный метод облучения пищевых продуктов.

D.2.4. Экспорт и продажа облученных пищевых продуктов

168. Достоверных данных о количествах облучаемых пищевых продуктов по всему миру существует мало, но известно, что ежегодно весьма значительное и при этом растущее количество высокоценных продуктов проходит лучевую обработку и поступает в продажу. В большинстве регионов мира имеется небольшое, но растущее количество пищевых продуктов, которые облучаются для соблюдения санитарных требований. К примеру, опубликованные данные за 2012 год показывают, что в странах Европейского союза лучевую обработку прошло свыше 9263 тонн продовольствия, в основном лягушачьи лапки, птица и специи.

169. Большой и при этом возрастающий процент пищевых продуктов облучается по фитосанитарным соображениям (например, для ликвидации плодовых мушек, клещей и мучнистых червецов), и это сравнительно новое промышленное применение стимулирует торговлю облученными продуктами. К примеру, свежие фрукты и овощи, экспортируемые в США, стали облучаться малыми дозами (менее 1 кГр) после того, как Инспекционная служба

по здоровью животных и растений (АПХИС) дала добро на применение облучения как «общего» метода карантинной обработки для уничтожения насекомых-вредителей, в частности моли на некоторых стадиях жизненного цикла. АПХИС также дала добро на облучение пакистанского манго при ввозе в США, а в Мексике создается новая установка для облучения пищевых продуктов в расчете на американский рынок. Благодаря недавним изменениям нормативных положений в США было разрешено более широкое применение гамма-облучательных и электронно-пучковых установок для обработки импортируемой свежей плодоовощной продукции в момент ввоза. Предприниматели начинают пользоваться этими разрешениями, подогревая интерес у стран, которые иначе не имели бы возможности облучать пищевые продукты. По всей вероятности, объемы торговли облученными свежими фруктами и овощами будут и далее быстро возрастать.

170. Облученной свежей плодоовощной продукцией торгует ряд стран, в том числе Австралия, Вьетнам, Индия, Мексика, Новая Зеландия, США и Таиланд. Они формируют растущую тенденцию к межрегиональной унификации национальных подходов и стратегий, связанных со сбытом облученных пищевых продуктов, на основе борьбы с насекомыми-вредителями свежей плодоовощной продукции, имеющими карантинное значение. Эта тенденция поддерживается международными стандартами по фитосанитарным мерам, установленными в Международной конвенции по карантину и защите растений, в том числе стандартами, разработанными в рамках исследовательских инициатив Агентства, такими, как «Руководящие принципы использования облучения в качестве фитосанитарной меры» и «Фитосанитарные обработки против регулируемых вредных организмов»; в последний стандарт включены 14 согласованных на международном уровне методов фитосанитарной обработки облучением, разработанных в рамках проектов координированных исследований Агентства.

D.2.5. Выводы

171. Ускоряющаяся урбанизация, рост населения и изменение климата ставят на повестку дня проблемы наличия и доступности безопасных, полезных для здоровья и качественных продуктов питания. Обычные методы минимизации послеуборочных потерь продовольствия, включая использование фумигации и других видов химической обработки, все чаще подвергаются критике ввиду их потенциально опасных последствий для населения и окружающей среды; к ним относятся и некоторые виды химической обработки, использование которых ограничивается положениями Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. Для радикального улучшения ситуации с наличием и доступностью продовольствия в предстоящие годы необходимо шире вводить в практику облучение пищевых продуктов, в особенности технологии электронно-пучкового и рентгеновского облучения. Эти технологии позволяют проводить эффективную и безопасную обработку продовольствия для обеспечения его высокого качества и сокращения послеуборочных потерь в общемировом масштабе.

172. По всей вероятности, будущая деятельность будет предполагать изучение путей дальнейшего развития мощностей для облучения пищевых продуктов с использованием технологий электронно-пучкового и рентгеновского облучения. Эти новые технологии будут иметь важное значение для регулирующих органов, руководителей, исследователей и пищевой промышленности в плане разработки инициатив и стратегий увеличения объемов торговли облученными продуктами питания.

173. Облучением обеспечивается также послеуборочная обработка, которая гарантирует, что экспортные товары будут отвечать гигиеническим и карантинным требованиям, тем самым открывая доступ к экспортным рынкам и иностранной валюте и содействуя получению доходов, способных принести прямую выгоду производителям продовольствия, которые иначе не смогли бы воспользоваться возможностями, открывающимися благодаря международной торговле.

Е. Новые достижения в борьбе с раком при помощи ядерных технологий

Е.1. Последние достижения в лучевой терапии рака

174. Лучевая терапия позволяет эффективно лечить рак путем обработки опухоли точной дозой с причинением минимального вреда окружающим здоровым тканям. Последние достижения в фотонной лучевой терапии имеют потенциально большие преимущества по сравнению с обычной лучевой терапией. Среди этих достижений - такие методы, как лучевая терапия с модуляцией интенсивности (ЛТМИ), лучевая терапия с визуальным контролем (ЛТВК), стереотаксическая лучевая терапия (СЛТ), стереотаксическая радиохирurgia, стереотаксическая терапия всего тела, роботизированная лучевая терапия, спиральная томотерапия (СТ), ротационная терапия с модуляцией объема излучения (РТМО) и респираторно-синхронизированная радиотерапия. Эти технологии были вкратце описаны в «Обзоре ядерных технологий - 2012»³¹.

Е.1.1. Проблемы внедрения этих технологий

175. Некоторые из вышеупомянутых технологий позволяют неинвазивным способом и точно доставлять невообразимые ранее дозы радиации к дискретно заданному объему опухоли. К числу их потенциальных преимуществ относится улучшенное распределение дозы, более низкая токсичность, быстрота лечения и усиленный локальный контроль, что увеличивает шансы на выздоровление. Однако эти технологии находятся на разных стадиях клинических исследований, и для их широкого введения в медицинскую практику потребуются большой объем подтверждающих данных хорошо спланированных рандомизированных испытаний³². Появляются свидетельства того, что метод ЛТМИ облегчает задачу сохранения здоровых тканей. Например, недавнее изучение клинических данных по ЛТМИ³³ показало, что при лучевой терапии местнораспространенного рака головы и шеи применение ЛТМИ обеспечивает сохранение слюноотделения околоушной железой и ослабляет симптомы острой и отсроченной ксеростомии (сухости во рту). Оно также снижает отсроченную ректальную токсичность у больных раком предстательной железы, позволяя безопасно наращивать дозу, а также, по всей видимости, снижает токсичность в ряде других мест образования опухолей. У пациентов с раком груди применение ЛТМИ снижает острую токсичность и дает лучший

³¹ IAEA NTR 2012.

³² Rosenblatt et al. Radiother & Oncol, 2012.

³³ Staffurth J. Clinical Oncol 2010.

косметический эффект по сравнению с традиционной тангенциальной лучевой терапией рака груди.

176. Трехмерная конформная лучевая терапия (3М-КЛТ) теперь считается стандартным техническим методом и обеспечивает качественное лечение большинства больных по разумным тарифам в расчете на одного пациента. Некоторые из новых технологий, такие как лучевая терапия ионами углерода, протонная лучевая терапия и стереотаксическая радиотерапия всего тела, пригодны для лечения конкретных типов рака и для конкретных клинических картин заболевания, но они не могут заменить собой традиционной стандартной лучевой терапии на базе 3М-КЛТ фотонной терапии.

177. Для выбора наиболее подходящей технологии необходимо иметь четкую информацию о технологиях, которые могут быть применены. Если на раннем этапе при испытании некоторых технологий главное внимание уделялось их пригодности для клинических условий, то позднее акцент стал делаться на результатах. Новые технологии должны оцениваться также по параметрам, учитывающим критерии качества жизни, таким, как результаты, сообщаемые больными, и продолжительность полнокровной жизни³⁴.



РИС. Е-1. Современный медицинский линейный ускоритель, оборудованных для ЛТБК. Этот аппарат позволяет повысить точность лучевой терапии благодаря частой съемке изображений ткани-мишени и/или здоровых тканей непосредственно перед лечением и корректированию объекта облучения с учетом полученных изображений. Фото: Eduardo Rosenblatt. ESTRO Forum, London 2011.

Е.1.2. Стоимость и эффективность усовершенствованных методов лучевой терапии

178. Использование новых и усовершенствованных технологий лучевой терапии зависит от их стоимости и эффективности. Эти технологии сопряжены с более высокими капитальными и эксплуатационными затратами, предусматривают более строгие программы обеспечения качества (ОК) и требуют наличия персонала соответствующей квалификации. Процедуры ОК, которые удовлетворяли бы требованиям усовершенствованных технологий, разрабатываются в настоящее время, и их будет необходимо применять параллельно с официальными сравнительными клиническими испытаниями. Внедрение передовых технологий в радиационной онкологии также должно рассматриваться в разрезе общих потребностей и приоритетов, где важное значение имеют такие факторы, как наличие квалифицированных

³⁴ Vikram, Coleman and Deye. Oncol 2009, Part I & Part II.

специалистов по лучевой терапии и финансовых средств и удобство технического обслуживания оборудования. Также необходимо организовать подготовку радиационных онкологов, медицинских физиков, техников-радиологов, администраторов и инженеров по обслуживанию медицинской техники. Каждому из таких специалистов зачастую требуется существенная подготовка не только для ознакомления с внедряемой новой технологией, но и для выполнения основных требований к уровню знаний о работе на местах.



РИС. Е-2. Роботизированная лучевая терапия - это безрамная система роботизированной радиохирургии. Двумя главными компонентами этого аппарата являются небольшой линейный ускоритель для облучения и роботизированная рука-манипулятор, позволяющая направлять энергию на любую часть тела с любого направления. Фото: Eduardo Rosenblatt. ESTRO Forum, London 2011.

Е.1.3. Терапия заряженными частицами в онкологии

179. Терапия заряженными частицами предполагает использование в лучевой терапии «более тяжелых» субатомных частиц. Хотя электрон и можно считать «частицей», он используется в клинической практике на регулярной основе и не имеет никаких уникальных радиобиологических свойств. Проходя сквозь ткань, более тяжелые частицы (нейтроны, протоны, ионы углерода) доставляют больше энергии на удельную длину пробега (например, на см). Поэтому с большей степенью вероятности смогут разрушить ДНК и уничтожить больные клетки. Фотонное или рентгеновское облучение позволяет подвести высокую дозу излучения ближе к поверхности тела. По мере дальнейшего проникновения фотона в ткань поглощенная доза снижается. Протоны выделяют малый объем энергии на поверхности тела. Более того, протоны выделяют максимальную энергию (или обеспечивают интенсивную ионизацию) на конечном отрезке своего пути в ткани. Такое выделение энергии называют пиком Брэгга: при его достижении доза излучения сокращается, а после прохождения – снижается до нуля на очень коротком отрезке.

180. Применение терапии заряженными частицами в онкологии имеет давнюю историю. Этот вид терапии был разработан в начале 1950-х годов, когда в практику было впервые введено облучение протонным пучком, а затем - облучение отрицательно заряженными пи-мезонами (заряженными субатомными частицами) и нейтронным пучком. В последние два десятилетия возрос интерес к терапии заряженными частицами, в частности к протонной терапии и терапии ионами углерода, и активизировалось их развитие. Сегодня в мире насчитывается 40 центров

терапии заряженными частицами, в том числе 6 центров терапии ионами углерода. Кроме того, 25 установок находятся на стадии строительства и проектирования³⁵.

181. Проблемой таких установок, однако, остается их стоимость. Анализ стоимости внешней пучковой радиотерапии ионами углерода, протонами и фотонами³⁶ показал, что капитальные затраты варьируются в пределах от 23 млн евро до 138 млн евро (в зависимости от конкретного сочетания лечебных методов), а ежегодные текущие расходы – в пределах от 9 млн евро до 36 млн евро. Что касается протонных установок, то для них разработаны более новые компактные коммерческие решения. Стоимость одного аппарата такой новой модели составляет порядка 16 млн евро, тогда как цена традиционной протонной установки – 95 млн евро.

182. С терапией заряженными частицами связана еще одна проблема: это то, насколько имеющиеся научные данные подтверждают тезис, что этот вид терапии более эффективен, чем стандартная фотонная терапия, для лечения плотных опухолей³⁷. Некоторые эксперты, работающие на установках для терапии заряженными частицами, утверждают, что проводить клинические испытания для сравнения, к примеру, протонов с фотонами, нет необходимости, поскольку по физическому распределению дозы и интенсивности доставляемой энергии протоны имеют явное превосходство.

183. Вместе с тем другие эксперты заявляют, что, как и для любой другой инновационной формы лечения, здесь необходимы научные данные, позволяющие обосновать использование ресурсоемкой формы лечения вместо стандартной формы. Как утверждается, аргумента о том, что терапия заряженными частицами лучше фотонной терапии в силу лучшего физического распределения дозы, недостаточно для того, чтобы оправдать замену фотонной терапии терапией заряженными частицами.

184. Таким образом, необходимы более полные данные по радиобиологии, радиофизике и клиническим результатам терапии заряженными частицами.

Е.1.4. Брахитерапия

185. Брахитерапия – это применение лучевой терапии путем размещения радиоактивных источников рядом с опухолями или непосредственно в них, либо в полостях тела. В частности, в области лечения гинекологических раковых заболеваний с использованием брахитерапии постепенно происходит переход от двухмерного к трехмерному планированию на основе томографической визуализации. Этот современный подход позволяет после введения аппликаторов для брахитерапии передать пациенту изображение, полученное методом компьютерной томографии или магнитно-резонансной визуализации. Это позволяет видеть не только аппликаторы, но и саму опухоль, ее отростки и соседние органы, которые подвергаются опасности радиационного поражения. После этого доза излучения направляется не на определенную точку, как было принято ранее, а на объем, который охватывает не только раковую опухоль и ее отростки, но и другие места с высоким риском проникновения раковых клеток³⁸.

³⁵ Группа по вопросам сотрудничества в области терапии заряженными частицами (ГСТЧ).

³⁶ Peeters et al. *Radiother & Oncol*, 2010

³⁷ Holtzscheiter et al. *Radiother & Oncol*, 2012

³⁸ Haie-Meder et al. *Radiother & Oncol* 2005.

186. В зависимости от выбранной технологии затраты могут существенно различаться. Одни технологии, такие как 3D-брахитерапия, РТМО и СЛТ, позволяют применять уже установленные компоненты лучевой терапии для визуализации и планирования. Для других (например, методов с использованием ионов или протонов углерода) требуются полностью новые, отдельные установки.

187. Для использования таких установок необходимо применение дополнительных требований по обеспечению качества (ОК), при этом необходимо учитывать потребности в выделении нового оборудования, дополнительных сотрудников и времени для деятельности, связанной с ОК.

188. Для внедрения усовершенствованных технологий в системы лечения и обеспечения их долгосрочного применения требуются дополнительные капиталовложения в строительство зданий и закупку оборудования, дополнительные квалифицированные людские ресурсы и дорогостоящие контракты на техническое обслуживание используемого оборудования, отличающегося большой сложностью и чувствительностью.

Е.2. Радиофармацевтические препараты для визуализации и лечения рака

189. Рак – это заболевание, появляющееся, когда внутренняя биохимическая молекулярная ткань клетки претерпевает аномальные изменения и не поддается воздействию обычных механизмов контроля, которые регулируют рост ткани через сложную сеть клеточной сигнализации. Это сложный процесс: хотя был достигнут существенный прогресс, для многих раковых заболеваний эффективные пути лечения все еще не найдены. В данном разделе освещены некоторые последние достижения в изучении рака на атомно-молекулярном уровне.

Е.2.1. Нанотехнологии и наномедицина

190. Нанотехнологии – это манипулирование отдельными атомами и молекулами вещества для создания новых материалов, устройств и конструкций. В составе молекулы отдельные атомы могут иметь свойства, отличные от их свойств в группах тех же атомов.

191. Одним из важных факторов в борьбе с раком является размер частиц, поскольку он определяет их поведение на атомном уровне. Благодаря разработке новаторских методик, которые помогают бороться с раком за счет использования характерных свойств определенных наноструктур, появилась новая отрасль – наномедицина, то есть применение нанотехнологий в медицинских целях. В них используются улучшенные – и зачастую ранее неизвестные – физические, химические и биологические свойства наноматериалов, что создает условия для раннего обнаружения и профилактики рака, а также позволяет повысить эффективность диагностики, лечения и последующего наблюдения.

Е.2.2. Свойства наноматериалов, которые могут использоваться при лечении рака

192. Наиболее эффективными средствами для лечения рака традиционно считались цитотоксичные химические вещества и меченые радиоактивными изотопами соединения (радиофармпрепараты). Химиотерапия и радионуклидная терапия убивают не только раковые, но и здоровые клетки. Как правило, химиотерапевтические и радиофармацевтические препараты представляют собой небольшие молекулы, которые легко проникают в ткани и распространяются в них; однако до сих пор сложно было создать препараты, которые воздействуют только на раковые клетки, не задевая здоровые. Наноматериалы же дают возможность использовать не задействованные ранее слабые места в структуре опухоли и избирательно уничтожать раковые клетки, не поражая здоровые ткани. При развитии опухоли

образуются новые кровеносные сосуды, через которые она снабжается кислородом и другими питательными веществами, поддерживающими быстрое размножение ее клеток. Новые сосуды формируются очень быстро, однако имеют меньшую толщину и плотность стенок и более крупные поры, чем здоровые сосуды. Их размер может варьироваться от нескольких сотен до нескольких тысяч нанометров. Для сравнения размер пор в стенках обычных сосудов составляет 2-6 нанометров. Наночастицы подходящего размера (10-300 нанометров) могут проходить сквозь поры опухолевых сосудов без существенного проникновения в здоровые ткани. На самом деле, наночастицы накапливаются только в опухолевой ткани вследствие чисто физического явления, известного как эффект увеличенной проницаемости и задержания (УПЗ).

193. Наночастицы способны переносить терапевтические вещества в своем внутреннем ядре, и это свойство можно использовать в сочетании с эффектом УПЗ. Таким образом, поверхностный слой наночастицы будет защищать инкапсулированное соединение на пути к биологической мишени. Затем содержимое частицы может высвободиться и оказывать терапевтическое воздействие на целевую ткань. Наночастицы можно сконфигурировать таким образом, чтобы они высвобождали действующее вещество в ответ на физические и химические изменения, происходящие на целевом участке, например, при попадании в кислую среду в ядре опухоли. В настоящее время проводится множество клинических испытаний, предусматривающих нанотехнологическую трансформацию известных химиотерапевтических препаратов для борьбы с раком.

Е.2.3. Прогресс в области фармацевтических нанотехнологий

194. В радионуклидной терапии используются меченые радиоизотопами носители – радиофармацевтические препараты – предназначенные для доставки локальных источников излучения во внутреннюю зону опухоли. Радиофармпрепараты имеют два дозовых компонента: носитель и следовое количество радионуклида, уменьшающееся по мере эмиссии субъядерных частиц. Лечебный эффект радионуклидной терапии достигается за счет поглощения опухолью альфа- и бета-частиц, выделяемых радионуклидами. В идеальном случае действие радиофармпрепарата должно быть избирательным: радиоактивный нуклид должен доставляться только к опухолевой ткани, и излучение не должно затрагивать здоровые ткани.

195. В настоящее время исследование новых радиофармпрепаратов для воздействия на опухоли – это одно из наиболее интересных направлений в области визуализации опухолей и лечения рака. В связи с этим в последнее время усилия в области фармацевтических нанотехнологий были направлены на разработку перспективных концепций с опорой на создание новых наноносителей, призванных повысить эффективность лучевой терапии и качество диагностики. Основная трудность состоит в том, каким образом прочно привязать радионуклид к переносящей его молекуле: представляется, что в этом случае использование нанотехнологий может быть особенно перспективным. Инкапсуляция нескольких радиоактивных атомов в оболочку наночастицы представляет собой простой подход, позволяющий избежать распространения радиоактивного излучения на здоровые ткани и доставить действующее вещество к раковым клеткам-мишеням. Наносистемы с заданными характеристиками могут использоваться для избирательного воздействия на раковые клетки, доставляя большие дозы радионуклидов в опухолевые клетки, не затрагивая при этом здоровые ткани и тем самым сильно уменьшая побочные эффекты, которыми обычно сопровождаются многие современные методы лечения раковых заболеваний.

Е.2.4. Направленное воздействие на раковые клетки

196. Еще одной важной характеристикой наносистем являются чрезвычайно высокие показатели отношения поверхности к объему, делающие внешнюю поверхность ("корону") наночастиц особенно пригодной для размещения на ней большого количества функциональных групп (частей молекулы), которые могут придавать системе дополнительные функциональные свойства. Например, наночастицы, несущие положительно заряженные (катионные) короны, могут легко проникать в мембраны большинства клеток, имеющие отрицательный заряд. И наоборот, наночастицы, покрытые нейтрально заряженными молекулами, по-другому распределяются в теле и могут быть направлены на другие специфические мишени. Покрывая поверхность наночастиц функциональными молекулами, такими как антитела или пептиды, которые могут взаимодействовать с рецепторами на внешней мембране раковых клеток, можно повысить избирательность и специфичность воздействия на опухоль. Также на поверхность наночастиц можно наносить молекулы, которые помогут избежать отторжения иммунной системой, а также группы молекул, способствующие прохождению частицы по заданному маршруту внутри тела, чтобы обеспечить достижение ею целевого участка (рис. Е-3).

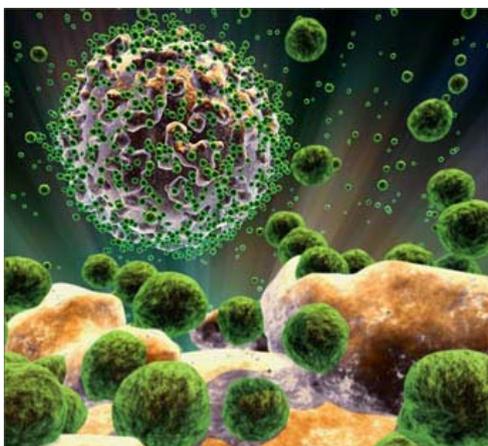


РИС. Е-3. Графическое представление глобулярных наночастиц (зеленые), состоящих из двухслойных оболочек липидных молекул, в тканевой жидкости. Частицы атакуют раковые клетки и доставляют к ним действующее вещество.

197. Согласно оценкам в течение 2006 года начались фармацевтические исследования приблизительно 240 нанопродуктов. Нанолипосомы, представляющие собой полые пузыри, заключенные в два слоя липидов, часто являются предпочтительным наноносителем для доставки терапевтических радионуклидов, заключенных в их внутренней полости. Отдельные нанотехнологические радиофармпрепараты для направленного воздействия на раковые клетки, проходящие клиническую оценку, перечислены в таблице Е-1.

Таблица Е-1. Отдельные нанотехнологические радиофармпрепараты для направленного воздействия на раковые клетки

Наноносители	Радионуклиды
Липосомы	Иод-131, иттрий-90, рений-188, медь-67
Липосомы	Рений-186
Липосомы	Индий-111, рений-188
Липосомы	Индий-111, рений-188
Липосомы/иммунолипосомы	Актиний-225
Иммунолипосомы	Иттрий-90
Липосомы и дендримеры	Бор-10

198. Наряду с липосомами исследователи по всему миру изучают возможность использования в качестве наноносителей различных природных и искусственных полимерных наносфер, а также антител, РНК и ДНК.

Е.2.5. Международные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

199. Ведется широкая исследовательская работа по использованию радиационных технологий для синтеза наноструктурированных носителей для направленной доставки терапевтических средств. В рамках проекта координированных исследований Агентства Аргентина, Бразилия, Венгрия, Египет, Индия, Италия, Китай, Малайзия, Польша, Республика Корея, Сербия, США, Таиланд и Турция разработали методики синтеза наночастиц и наногелей с точным контролем структуры, размера и функций получаемых продуктов. Несколько государств-членов также работают над обеспечением совместимости с существующими крупномасштабными облучательными установками и соответствующими процедурами (Италия), а также разрабатывают процедуры применения наночастиц и наногелей на основе белков (Аргентина, Бразилия), природных полимеров (Малайзия и Таиланд), синтетических полимеров (Венгрия, Египет, Италия, Республика Корея, Малайзия, Польша и Турция) и неорганических соединений (Индия, Китай, Республика Корея, Сербия и Франция).

200. Также были разработаны процедуры получения гибридных наноструктур, предусматривающие покрытие наночастиц и наногелей функциональными полимерами и биомолекулами в целях повышения их биосовместимости (Италия, Таиланд и Франция). В Таиланде налажено производство наночастиц на основе хитозана (вещества, получаемого из панцирей креветок и других ракообразных) путем радиолиза. Эти и аналогичные наночастицы могут стать потенциальными средствами иммобилизации отдельных радионуклидов.

201. Хотя несколько направленных наноносителей для радиофармпрепаратов успешно применялись для визуализации и обработки моделей опухолей в ходе доклинических и клинических испытаний, предстоит решить еще ряд задач, например, обеспечить долгосрочную стабильность наноносителей, увеличить объем их производства и решить проблему, связанную с возможной токсичностью и продуктами распада наноносителей.

Е.2.6. Выводы

202. По сравнению с обычной целевой радионуклидной терапией использование многофункциональных направленных наноносителей может позволить доставлять к опухолевым клеткам более крупные дозы радионуклидов, химиотерапевтических препаратов и/или реагентов для визуализации. Это может сыграть весьма важную роль в совершенствовании лечения рака за счет избирательного уничтожения злокачественных клеток без ущерба для здоровых тканей, тем самым уменьшая побочные эффекты и обеспечивая пациенту больший комфорт. Тем не менее необходимо решить определенные задачи, в том числе обеспечение долговременной стабильности и нетоксичности наноносителей и успешное расширение метода их синтеза до промышленных масштабов при сохранении характеристик продукта. Эти задачи необходимо будет решать посредством расширения сотрудничества между физиками, химиками, биологами, врачами, учреждениями, больницами, промышленностью и международными организациями.

Г. Применение ядерных технологий для смягчения последствий изменения климата

Г.1. Преобразования в сельском хозяйстве в целях решения задач, обусловленных изменением климата

203. К 2050 году численность населения мира, как ожидается, превысит 9 миллиардов человек, что приведет к повышенному спросу на сельскохозяйственную продукцию. Ввиду ограниченного объема источников воды и удобрений и снижения качества и плодородия почвы обеспечение глобальной продовольственной безопасности является весьма сложной задачей. Кроме того, изменение климата влияет на осадки и погодные явления, что может привести к сокращению доступных запасов воды и сказаться на условиях окружающей среды, необходимых для сельскохозяйственного производства. Изменение климата влияет на сельскохозяйственную деятельность, однако и она в свою очередь влияет на изменение климата. Считается, что сельское хозяйство – это один из существенных факторов глобального изменения климата, поскольку на него приходится более 14% общемирового объема выбросов парниковых газов (ПГ)³⁹. Поэтому в сельском хозяйстве должны произойти значительные преобразования, которые позволят решать задачи адаптации к изменению климата и смягчения его последствий для плодородия почв и продовольственной безопасности посредством определения и использования новых технологий и методик, снижающих выбросы ПГ в сельскохозяйственном секторе.

³⁹ FAO, (2012). Mainstreaming climate-smart agriculture into a broader landscape approach. Background Paper for the Second Global Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change. Hanoi, Vietnam, 3-7 September 2012.

F.1.1. Решение задач, связанных с изменением климата и продовольственной безопасностью, посредством ведения сельского хозяйства с учетом изменения климата

204. ФАО и ее партнеры содействуют переходу к ведению сельского хозяйства с учетом изменения климата. Это такой тип сельскохозяйственной деятельности, который предполагает устойчивый рост продуктивности, способности к восстановлению (адаптации) и сокращение/ликвидацию парниковых газов (смягчение последствий) при более активном достижении национальных целей в области продовольственной безопасности и развития.

205. При ведении сельского хозяйства с учетом изменения климата учитываются потребности как в адаптации к изменению климата, так и в смягчении его последствий. Адаптация сельскохозяйственного сектора необходима для предупреждения потерь и формирования способности к восстановлению. К практическим методам адаптации относятся природоохранное сельское хозяйство, повышение эффективности использования водных ресурсов, сбор поверхностного стока, диверсификация сельскохозяйственных культур, селекция пород животных и использование комплексных систем растениеводства и животноводства. Смягчение последствий предусматривает меры по сокращению выбросов ПГ вследствие применения химических удобрений и навоза пастбищных животных, а также более активное удаление ПГ из атмосферы растениями для последующего хранения в почвенном органическом веществе.

206. В 2012 году Группа экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания при Комитете по всемирной продовольственной безопасности отметила важность разработки стратегий в области сельского хозяйства и продовольственной безопасности, устойчивых к изменению климата. В этой связи ведение сельского хозяйства с учетом изменения климата способствует устойчивому в экономическом, социальном и экологическом плане восстановлению производства продовольствия и развитию сельских районов, особенно в развивающихся странах. Такое сельское хозяйство с малым объемом выбросов не угрожает продовольственной безопасности в силу более эффективного использования ресурсов и меньшего потребления энергии.

F.1.2. Роль ядерных методов в ведении сельского хозяйства с учетом изменения климата



РИС. F-1. Пожнивные остатки, сохраняемые на поверхности почвы кофейной плантации во Вьетнаме, сокращают испарение с поверхности почвы.

207. Информация о процентном содержании воды, поглощаемой растениями (процесс транспирации), и воды, выделяющейся при испарении из почвы, необходима для повышения продуктивности водопользования в сельском хозяйстве, которая имеет большое значение – особенно в регионах с ограниченными водными ресурсами – для общего снижения объема водопользования. Эта информация может использоваться для разработки хозяйственных методов, позволяющих максимально увеличить использование воды и улучшить понимание причин засоления почвы. Измерение изотопных сигнатур кислорода-18 и дейтерия в оросительной воде и воде, присутствующей в почве, растениях и атмосфере, окружающей сельскохозяйственные культуры, может использоваться для определения по отдельности объемов испарения и транспирации и оценки связанных с ними потерь воды из орошаемой почвы. Этот метод может использоваться для определения количества воды, используемой растениями, и потерь воды за счет испарения на различных стадиях роста растений и в различных оросительных системах, а также для более глубокого изучения причин засоления почвы. Такая деятельность полезна для разработки новых практических методов и технологий совершенствования орошения, повышения продуктивности использования воды растениями, а также регулирования уровня засоленности почвы и солености воды.



РИС. F-2. Сбор поверхностного стока в сельскохозяйственные пруды – важный источник воды для орошения в зонах богарного земледелия в Бразилии.

208. Почвенное органическое вещество (ПОВ) – это важный элемент, обеспечивающий качество и плодородие почвы. Неотъемлемыми компонентами ПОВ являются углерод и азот. В присутствии влаги часть ПОВ разлагается с выделением углекислого газа (CO_2) в атмосферу. Другая часть остается стабильной, не подвергается разложению и поэтому не выделяет в атмосферу CO_2 . Нанесение пожнивных остатков и навоза пастбищных животных, а также использование бобовых культур и севооборота увеличивает образование ПОВ. Изотопные сигнатуры углерода и азота (углерод-13 и азот-15) в почве, а также в выделяющихся газах CO_2 и N_2O (закиси азота) могут измеряться на месте с использованием переносных полевых приборов и использоваться для определения количества органического вещества, потерянного при разложении в возделываемой почве. Эту информацию можно использовать для выработки практических методов хозяйствования, позволяющих обеспечить большую стабильность углерода и азота в ПОВ и тем самым сократить выделение из нее CO_2 и N_2O .

209. Информация о потребностях растений в воде важна для точного планирования сроков орошения и прогнозирования урожайности в условиях меняющегося климата. Для оценки этих потребностей необходимы данные о содержании воды в почве по всему району. Ранее это было сложной задачей, поскольку большая часть измерений содержания воды в почве проводилась точечно. Это означает, что требуются многочисленные измерения, сопряженные с большими материальными и временными затратами. Недавние изобретения в области использования нейтронов, генерируемых естественным образом космическими лучами и исходящих из почвы,

дополняют точечные измерения и позволяют точно определить содержание воды в почве во всем районе и, таким образом, объединить данные о влажности почвы на большой территории (до 40 га). Эта технология дает также возможность получить информацию о содержании воды в почве на глубине до 70 см, которую можно использовать для оценки однородности и эффективности распределения воды, чтобы облегчить составление графика орошения, где и когда это необходимо, и сократить общие потребности в воде.

210. Необходимо вывести сорта сельскохозяйственных культур, обладающие большей урожайностью при меньших затратах и лучше адаптированные к неблагоприятным внешним условиям, вызванным изменением климата. Индуцирование мутаций с использованием ядерных методов приводит к генетическим вариациям и способствует увеличению биоразнообразия. Мутационная селекция используется для выведения сортов с большей продуктивностью и более стабильными показателями урожайности в неблагоприятных внешних условиях, включая климатические изменения, которые приводят к наводнениям, засухам, сильным ветрам и экстремальным температурам. Применение улучшенных мутантных сортов способствует сокращению использования земель и ведению более совершенного и экологически безопасного сельского хозяйства. Один из примеров – это мутантный сорт ячменя, который способен выдерживать суровые погодные условия на высоте 5000 м над уровнем моря в Перу. Этот мутантный сорт повысил продовольственную безопасность коренного населения Анд численностью семь миллионов человек и улучшил условия их жизни. Кроме того, в прибрежных районах Бангладеш были внедрены солеустойчивые мутантные сорта риса. Эти мутантные сорта могут успешно выращиваться в засоленных почвах, вследствие чего появляется возможность использовать новые районы для сельскохозяйственного производства.

211. Самым значительным шагом вперед станет разработка методов ускоренной селекции с получением желаемых мутантных характеристик, которые дадут возможность сократить цикл селекции с 10-15 лет до 2-3 лет, тем самым обеспечив быстрое удовлетворение потребностей государств-членов в разработке новых сортов сельскохозяйственных культур с набором таких характеристик, как сокращенный период созревания и устойчивость к нехватке воды и засоленности почвы, штормам и экстремальным температурам.



РИС. F-3. Градоустойчивый ячмень в горных районах Перу. Данные сорта ячменя несут мутацию, благодаря которой верхушки растений могут склоняться, защищаясь от повреждения сильными ветрами. Это позволило выращивать ячмень на ранее недоступных высотах и увеличить урожайность ячменя в Перу в 6 раз.

212. Одной из серьезных задач является разведение здоровых животных, которые могут существовать с использованием менее обильных кормовых ресурсов, с одновременным повышением эффективности использования энергии из их кормов и смягчением последствий выбросов парниковых газов, образующихся в качестве побочного продукта. Метаболический и генетический анализ пищеварительной системы сельскохозяйственных животных проводится в целях выявления характеристик или определения экологических свойств и разнообразия метаногенов, чтобы установить, какие микроорганизмы присутствуют при переваривании питательных компонентов и какую роль в нем играют. Это позволяет разрабатывать стратегии оптимизации активности микроорганизмов жвачных животных и/или использования препятствующих разложению в рубце кормовых добавок в целях большего усвоения энергии и сокращения выбросов метана и CO₂. Кроме того, использование генетических маркеров для отбора осеменителей, дающих необходимые характеристики, такие как приспособляемость к жаркому и влажному климату, устойчивость к болезням и повышение привеса и надоев, поможет стимулировать рост животноводства в течение следующих десятилетий. Во всех этих исследованиях применяются ядерные и связанные с ними методы: используются либо индикаторные вещества (изотопное мечение питательных компонентов для отслеживания метаболических путей), либо лабораторные методы (радиоиммуноанализ, молекулярный генетический анализ и т.д.) измерения заданных параметров.

Ф.1.3. Выводы

213. Для эффективного ведения сельского хозяйства с учетом изменения климата требуется информация о факторах и движущих силах, которые влияют на взаимодействие между почвой, водными ресурсами, растениями и животными, чтобы эффективно адаптировать сельскохозяйственную систему к изменению климата. Критически важно отслеживать и оценивать различные стратегии адаптации и смягчения последствий, реализуемые на местах, чтобы содействовать применению передовых методов хозяйствования в целях повышения устойчивости, продовольственной безопасности и обеспечения долгосрочных выгод. Изотопные и ядерные методы дают возможность получить новую информацию, которая позволяет содействовать более совершенному ведению сельского хозяйства с учетом изменения климата.

Г.2. Ядерные методы в изучении изменения климата и его воздействия на морскую среду



РИС. Г-4. Изменение климата угрожает прибрежным ресурсам; среди них коралловые рифы, которые являются важным очагом биоразнообразия, а также местом обитания и питомником для многих морских видов (фото: Роберт Б. Данбар).

214. Очень важно разработать инструменты и стратегии, создающие условия для адаптации морской среды и ее ресурсов к изменению климата, а также для смягчения оказываемого на них воздействия. Как подчеркивалось в подготовленном по инициативе Генерального секретаря ООН Договоре по океанам и в ходе международных дискуссий, состоявшихся на Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию ("Рио+20"), для достижения целей Договора потребуется активизация международного сотрудничества в области научных исследований, мониторинга и наблюдения морской среды, в частности особо уязвимых экосистем.

215. Концентрация CO₂ в атмосфере увеличилась с 280 частей на миллион (чнм) в XIX веке до 390 чнм в 2011 году. CO₂ – это основной парниковый газ, содержание которого определяет глобальный тепловой баланс Земли. Океан поглощает около трети от общего объема антропогенных выбросов CO₂, которые образуются в основном вследствие сжигания органического топлива и изменений в землепользовании.

216. Увеличение содержания CO₂ в атмосфере, как установлено, является основным фактором изменения климата и связанных с ним проблем, таких как глобальное потепление, повышение уровня моря, подкисление океана, кислородное истощение и увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Изменение климата в свою очередь оказывает различное прямое и косвенное воздействие на рыбные ресурсы, прибрежную аквакультуру, коралловые рифы и другие прибрежные ресурсы, а также на жизнедеятельность людей в больших городах, расположенных в низинных прибрежных районах. Изменения в круговороте воды также приводят к изменениям характеристик прибрежной эрозии и распределения, переноса и биодоступности питательных веществ и загрязнителей, что может обусловить эвтрофикацию (процесс, в результате которого в воду поступает слишком много

питательных веществ, способствующих росту и дальнейшему разложению водорослей и растений, потребляющих больше кислорода, что в конечном итоге ведет к снижению содержания кислорода в воде) и загрязнение морепродуктов и продукции аквакультуры.

217. Ядерные технологии важны для понимания некоторых базовых научных вопросов о воздействии экологического состояния океана на морские экосистемы и организмы.

218. Радионуклиды и стабильные изотопы могут использоваться в рамках исследований истории климата для изучения множества параметров окружающей среды, таких как температура, выпадение осадков и кислотность морской воды. Ледники, осадочные отложения, ледниковый покров и кораллы – это "системы хранения" или "записывающие механизмы", фиксирующие условия окружающей среды в момент их возникновения. Радионуклиды и стабильные изотопы также могут найти применение в исследованиях физиологических процессов, таких как кальцификация и биоаккумуляция химических веществ и связанные с ними реакции организмов на изменение условий окружающей среды.

219. Ядерные и изотопные методы используются и разрабатываются в Лабораториях окружающей среды МАГАТЭ, чтобы содействовать глобальному пониманию изменений в морской среде, связанных с изменением климата, включая потепление и подкисление океана.

Ф.2.1. Эль-Ниньо – Южное колебание

220. Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – это масштабное климатическое явление, которое происходит каждые несколько лет и оказывает серьезное воздействие на погоду и экономику во многих странах тихоокеанского региона. Оно также в определенной степени влияет на образование льда в Антарктике. Южное колебание сопровождается изменениями температуры морских поверхностных вод в тропическом поясе восточной части Тихого океана (повышение и понижение температуры, известные, соответственно, как Эль-Ниньо и Ла-Нинья) и приповерхностного давления воздуха в тропическом поясе западной части Тихого океана. Кроме того, оно вносит локальные изменения в океаническую циркуляцию, которая представляет собой один из ключевых процессов, управляющих климатом нашей планеты.

221. Крайние проявления этих колебаний климатической системы приводят к возникновению суровых погодных условий, таких как наводнения и засухи, во многих регионах мира и оказывают существенное воздействие на рыболовство во многих странах. Больше всего страдают страны, зависящие от сельского хозяйства и рыболовства, в частности граничащие с Тихим океаном.

222. Исследования явления ЭНЮК с использованием радионуклидов и стабильных изотопов показали, что во время явления Эль-Ниньо температура океана в тропиках и субтропиках меняется, что сопровождается изменением объемов испарения и разделения изотопов, в результате чего происходит изменение изотопного состава морской воды по дейтерию, углероду-13, углероду-14 и кислороду-18. Изучить эти изменения можно на примере осадочных отложений, кораллов, ледников, пещерных озер и годовых колец деревьев. Эти исследования помогают объяснить особенности явления ЭНЮК за период в несколько тысячелетий.

F.2.2. Углеродный цикл

223. Океан является основным поглотителем углерода и улавливание возрастающих количеств CO_2 приводит к повышению его кислотности. "Погружающиеся частицы" представляют собой основной механизм переноса углерода и загрязнителей с поверхности на дно океана. К ним относится атмосферный углерод, который преобразуется из CO_2 в биомассу и изолируется в глубинных водах посредством погружения частиц. Поэтому важно понять механизмы, которые управляют движением потоков материала с поверхности океана к его дну.

224. Природный радионуклид торий-234 все шире используется для количественного определения потоков частиц и переноса углерода из верхних слоев океана в районах открытого океана и в прибрежных средах. Торий-234 является частицей химически активного изотопа, который образуется в морской воде в результате радиоактивного распада растворенного материнского радионуклида урана-238. Нарушение равновесия между ураном-238 и измеренной общей активностью тория-234 отражает чистый коэффициент переноса частиц с поверхности океана в масштабах времени от дней до недель.

225. Несколько экологических процессов, связанных с изменением климата, могут менять углеродный цикл и секвестрацию углерода в океанах. Повышение содержания CO_2 в атмосфере и вытекающее из него увеличение содержания CO_2 в морской воде постепенно меняют степень кислотности океанов. Повышение кислотности воды может воздействовать на биологические процессы, которые определяют образование частиц и осадочных отложений в водяном столбе (условном столбе воды от поверхности до дна). Изменение температуры влияет на сезонные сроки весенне-летней стратификации водяного столба во многих географических районах мира. Это оказывает воздействие на динамику переноса частиц и углерода, поскольку стратификация водяного столба представляет собой один из важнейших физических процессов, определяющих характеристики нисходящего потока частиц. Уже доказано, что повышение температуры влияет на площадь и толщину морского льда в полярных широтах.

F.2.3. Последствия подкисления океана

226. Моделирующие исследования четко показывают, что полярные и тропические регионы особенно чувствительны к совокупным последствиям изменения климата в результате повышения температуры и подкисления океана. Агентство разрабатывает экспериментальные исследования для изучения последствий подкисления океана, с тем чтобы более надежно прогнозировать их влияние на морское биоразнообразие.

227. Радиоизотопы – это ценные инструменты для исследования реакций морских организмов на повышение температуры, повышение парциального давления углекислого газа ($p\text{CO}_2$) и снижение солености и содержания кислорода. Они используются для получения информации о некоторых биологических эффектах, которые, как ожидается, будут сопровождать глобальные изменения в океане. Ядерные методы используются для изучения нескольких важных биологических процессов, включая кальцификацию, биоминерализацию, метаболизм и биоаккумуляцию микроэлементов.

228. Бета-излучающий изотоп кальций-45 в настоящее время широко используется для измерения скорости кальцификации у многих видов, включая рифообразующие кораллы. Это позволяет довольно точно оценить чистую скорость кальцификации в известняковых структурах. Биоминерализацию можно исследовать путем учета других основных элементов известняковых структур, таких как стронций-85.

229. Радиоизотопы оказались особенно полезными для исследования метаболических процессов при различных окружающих условиях. Например, содержащий цинк металлофермент карбоангидраза, катализирующий поглощение углерода морскими организмами для фотосинтеза, процессов биоминерализации и поддержания общего кислотно-щелочного баланса, реагирует на подкисление океана и кислородное истощение в морской воде. Изучение кинетики поглощения радиоизотопа цинка-65 позволяет оценить воздействие повышенного уровня $p\text{CO}_2$ на метаболические процессы в организмах. В более общем плане радиоизотопы, такие как кобальт-57, кобальт-60, марганец-54 и селен-75, представляют интерес с учетом важности их соответствующих стабильных изотопов для метаболизма. Эти микроэлементы обладают существенными физиологическими функциями и могут подвергаться воздействию потепления, подкисления океана, гипоксии (кислородного истощения) или изменения солености. Высокочувствительные методы с использованием радиоиндикаторов, таких как натрий-22 и хлор-36, позволяют изучать конкретные физиологические процессы, например, ионную регуляцию.

F.2.4. Воздействие в будущем

230. Ожидается, что в будущем изменения химического баланса соединений углерода в океанах, обусловленные подкислением, или изменения солености вследствие увеличенного поступления пресной воды в прибрежные районы приведут к изменению химического состава микроэлементов и их биодоступности для морских организмов. Кроме того, температурные условия, гиперкапния (повышенный уровень CO_2), гипоксия (низкое содержание O_2) и изменение солености будут препятствовать осуществлению физиологических функций, таких как ионная регуляция. Для исследования потенциала биоаккумуляции при повышении $p\text{CO}_2$ могут использоваться растворенные радиоиндикаторы. Радиоизотопный анализ обеспечивает получение данных, ценных для понимания механизмов токсичности в морских организмах и для оценки риска загрязнения в морепродуктах, потребляемых человеком. Эти методы, для которых характерны высокая чувствительность и степень детализации, могут использоваться для понимания воздействия углеродных соединений на морские организмы и снижения существующей неопределенности в отношении биологических последствий изменения химического состава океана. Наличие надежных данных и снижение неопределенности имеют весьма важное значение для построения точных моделей воздействия на рыболовство и оценки социально-экономических последствий подкисления океана.

F.2.5. Использование стабильных изотопов при исследовании изменения климата

231. Стабильные изотопы используются для изучения происходящих в океане процессов, имеющих большое значение для подкисления океана, вызванного изменением климата, и глобального углеродного цикла.

232. Для органических видов топлива характерно уникальное соотношение двух стабильных изотопов углерода (углерода-12 и углерода-13), и при сжигании такого топлива в атмосфере остается различимая изотопная сигнатура. Измерение состава изотопов углерода в океане позволяет обнаружить наличие этого антропогенного сигнала, поэтому углерод-13 может использоваться как характерный признак, по которому можно изучать, каким образом океан поглощает парниковые газы. Углерод-13, растворенный в морской воде, также поглощается известняковыми организмами, таким образом сигнатура углерода-13 в панцирях может использоваться как палеоклиматологическое средство для определения возраста. Реконструкция кислотности морской воды также проводится на основе изучения содержания изотопа бора-11 в многолетних массивных кораллах. Альтернативные механизмы, такие как регистрация изотопов кислорода (кислорода-18/кислорода-16), содержащихся в известковых панцирях морских микроископаемых или в многолетних кораллах, широко используются для

оценки характерных для предшествующих периодов температуры поверхности морской воды, ее солености и режимов циркуляции, например, интенсивности и частотности явления ЭНЮК в прошлом, а также связанных с этим ледниково-межледниковых колебаний. Долговременные изменения в соотношении изотопов кислорода и водорода в осадках также отражают колебания местных климатических условий, таких как пути циклонов, траектории движения воздушных масс, история дождей и температура воздуха, причем изменения в циркуляции водной массы могут оказывать сильное влияние на все эти явления. Изотопное соотношение азота также используется для регистрации изменений уровней продуктивности и питательных веществ в водяном столбе и происхождения соединений азота.

233. К числу других новых методов, в которых стабильные изотопы используются для отслеживания изменения климата, относятся измерение состава стабильных изотопов углерода и водорода в специфических липидных биомаркерах, которые сохранились в "экологических архивах", таких как осадочные отложения. Специфические липидные биомаркеры, полученные из некогда живых организмов, поддаются анализу, позволяющему определить их исходные соединения, а их стабильный изотопный состав отражает экологические и климатические условия, существовавшие на момент их образования. Поэтому их можно использовать в качестве индикаторов для реконструкции температуры, уровней CO₂, влажности, продуктивности морской среды и влияния осадочных отложений, поступающих вследствие эрозии почв, а также для оценки воздействия растительности и деятельности человека в масштабах всего бассейна по геохронологической шкале.

F.2.6. Выводы

234. Ядерные и изотопные методы – это уникальные инструменты, которые способствуют пониманию химических, биологических и экологических изменений в морской среде, связанных с изменением климата.

235. Внутренние часы природных радионуклидов позволяют установить даты в рамках "экологических записывающих устройств", имеющих изотопные индикаторы, которые указывают на множество параметров окружающей среды. Реконструкция климатических условий в прошлые периоды на основе изучения морских ископаемых, многолетних кораллов или осадочных отложений может использоваться, чтобы более точно прогнозировать изменение таких параметров, как температура, выпадение осадков или кислотность морской воды.

236. Эти знания необходимы для исследования экологического и социально-экономического воздействия будущих климатических условий на живые ресурсы моря и экосистемы, включая рыболовство и аквакультуру, а также для оказания помощи обществу в разработке стратегий по адаптации к этим условиям или смягчению их последствий; для этого потребуется постоянное и более активное международное сотрудничество в области научных исследований, мониторинга и наблюдения морской среды, в частности особо уязвимых экосистем.