

Генеральная конференция

GC(58)/INF/4

22 июля 2014 года

Общее распространение

Русский

Язык оригинала: английский

Пятьдесят восьмая очередная сессия

Пункт 16 предварительной повестки дня
(GC(58)/1, Add.1 и Add.2)

Обзор ядерных технологий – 2014

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 2013 году.
- В «Обзоре ядерных технологий – 2014» рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, применения ускорителей и исследовательских реакторов, животноводство, снижение выбросов парниковых газов, цифровая визуализация и телерадиология, радиационные технологии обработки сточных вод и твердых веществ биологического происхождения и вредоносное цветение водорослей. На веб-сайте Агентства¹ имеется дополнительная документация на английском языке, относящаяся к "Обзору ядерных технологий - 2014" и посвященная роли управления ядерными знаниями, а также ядерной энергетике и изменению климата.
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти также в Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2013 год (GC(58)/3), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2013 год (GC(58)/INF/5).
- 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/GC58/Documents/>

Обзор ядерных технологий – 2014

Доклад Генерального директора

Резюме

1. В конце 2013 года во всем мире насчитывалось 434 действующих ядерных энергетических реактора и общемировая генерирующая мощность составляла 371,7 ГВт (эл.). Четыре новых объекта были подключены к энергосетям, и начались работы по строительству 10 новых реакторов. За последние три десятилетия Беларусь стала второй новой страной, начавшей сооружение своей первой АЭС. Как и прежде, перспективы роста в краткосрочной и долгосрочной перспективе связывались прежде всего с Азией, особенно с Китаем. Число строящихся реакторов в 2013 году (72) было рекордно высоким с 1989 года. Из них 48 реакторов находились в Азии, и там же находились 42 из последних 52 новых реакторов, подключенных к энергосетям с 2000 года.

2. Сегодня ядерно-энергетические мощности существуют в 30 странах, и примерно такое же число стран изучают вопрос о включении ядерной энергетики в национальную структуру энергопроизводства. Из 30 стран, уже эксплуатирующих АЭС, 13 либо сооружают новые станции, либо активно завершают ранее приостановленное строительство, а 12 планируют построить новые станции или завершить приостановленное строительство.

3. На Международной конференции МАГАТЭ на уровне министров "Атомная энергетика в XXI веке", прошедшей в июне 2013 года, было вновь подтверждено, что для многих стран ядерная энергетика остается важным путем к улучшению энергетической безопасности, уменьшению негативного влияния волатильности цен на органическое топливо и смягчению последствий изменения климата. В Заключительном заявлении говорится, что «как стабильный базисный источник электроэнергии в эпоху всевозрастающих мировых потребностей в энергоресурсах ядерная энергетика дополняет собой другие источники энергии, в том числе возобновляемые». Согласно прогнозам Агентства, подготовленным в 2013 году, к 2030 году рост в секторе ядерной энергетики составит от 17% (по низкому прогнозу) до 94% (по высокому прогнозу). Эти цифры несколько ниже прогнозировавшихся в 2012 году, что объясняется сохраняющимся влиянием аварии на АЭС "Фукусима-дайити", низкими ценами на природный газ и ростом использования возобновляемых источников энергии. В дополнительных материалах показывается взаимосвязь между ядерной энергетикой и изменением климата, поскольку из всех источников энергии ядерная энергетика, гидроэнергетика и ветроэнергетика производят меньше всего парниковых газов в течение всего жизненного цикла.

4. Стержневым элементом всей деятельности по укреплению безопасности, которая велась государствами-членами, Секретариатом и другими соответствующими заинтересованными сторонами, оставалось осуществление Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности. На атомных электростанциях продолжали совершенствоваться системы безопасности, в том числе с учетом уроков аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Это способствовало укреплению глобальной системы ядерной безопасности. Поскольку ключевое значение для безопасного и эффективного ведения любой ядерной деятельности имеет передача знаний и обмен ими, имеется дополнительная информация, посвященная управлению ядерными знаниями.

5. Предполагается, что дальнейшие усовершенствования и исследования в области усовершенствованных ядерных реакторов, таких как водоохлаждаемые реакторы, быстрые реакторы и газоохлаждаемые реакторы, позволят эффективнее использовать ядерное топливо и снизить объемы радиоактивных отходов. Растет интерес к реакторам малой и средней мощности (РМСМ) и к использованию АЭС в неэлектрических применениях, таких как опреснение воды, выработка технологического тепла, централизованное теплоснабжение и производство водорода.

6. Спотовые цены на уран оставались на рекордно низком уровне за последние семь лет, ограничивая возможности компаний по изысканию средств на проведение разведочных работ и технико-экономических исследований, что в будущем негативно скажется на производстве. Хотя в ряде стран, по сообщениям, были изысканы дополнительные ресурсы, работа над многими ранее объявленными новыми проектами, вероятно, будет приостановлена.

7. Во всем мире в сфере обогащения урана сохранялась тенденция к использованию более энергоэффективных технологий. В 2012 и 2013 годах были закрыты газодиффузионные заводы. Продолжалась реализация проектов центрифужного обогащения, а технология лазерного обогащения вышла на стадию промышленного внедрения.

8. Совокупные мощности по производству топлива оставались более или менее постоянными, хотя в следующие несколько лет ожидается их увеличение согласно прогнозируемому росту спроса.

9. Пока пункты захоронения отработавшего топлива и высокоактивных отходов еще не введены в эксплуатацию, объем отработавшего ядерного топлива в хранилищах продолжает нарастать. Мировой парк АЭС дополнительно произвел отработавшее топливо в объеме 10 000 тонн тяжелого металла (т ТМ). В итоге общий совокупный объем отработавшего топлива, выгруженного из реакторов, составил приблизительно 370 500 т ТМ.

10. По всему миру работают пункты захоронения радиоактивных отходов всех категорий, за исключением высокоактивных отходов (ВАО) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), отнесенного к разряду отходов. Идет процесс лицензирования строительства пунктов геологического захоронения в Финляндии, Франции и Швеции. НИОКР в области захоронения ВАО и ОЯТ ведутся и в других государствах-членах.

11. Предстоит проделать большую работу в области вывода из эксплуатации. По состоянию на декабрь 2013 года 147 ядерных энергетических реакторов во всем мире были окончательно остановлены, более 400 исследовательских реакторов и критических сборок и несколько сотен других ядерных установок, таких как установки для обращения с радиоактивными отходами и установки топливного цикла, были выведены из эксплуатации или демонтируются. Около 40% всех действующих ядерных энергетических реакторов находятся в строю уже более 30 лет, около 7% из них – более 40 лет. Хотя некоторые из них могут продолжать работать до 60 лет, многие будут выведены из эксплуатации в ближайшие 10-20 лет.

12. В 2013 году продвинулась вперед работа по очистке территорий, затронутых аварией на АЭС "Фукусима-дайити". Япония выделила значительные средства на планирование и проведение мероприятий по реабилитации обширных загрязненных территорий за пределами площадки. Особое внимание было уделено мерам, позволяющим эвакуированным жителям вернуться в свои дома. Было также немало сделано с точки зрения координации мер по реабилитации с усилиями по реконструкции и возрождению.

13. По мере продолжения строительства ИТЭР во всемирной программе термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы все более явственно намечается переход к производству энергии термоядерного синтеза в промышленном, заводском масштабе. Многие страны самостоятельно разрабатывают программные планы и начинают проведение новых НИОКР с целью продемонстрировать готовность технологии термоядерного синтеза к промышленному внедрению. В своей совокупности эти планы и мероприятия образуют программу создания демонстрационной термоядерной энергетической установки (DEMO), хотя единого или согласованного видения дорожной карты для демонстрации производства электроэнергии путем термоядерного синтеза не существует.

14. Все больше государств-членов интересуются программами создания исследовательских реакторов, а некоторые планируют использовать свой первый исследовательский реактор как первое звено национальной инфраструктуры ядерной науки и технологий. В трех странах сооружаются новые исследовательские реакторы, а в ряде других имеются утвержденные планы или изучается вопрос о строительстве новых реакторов. Более старые реакторы заменяются меньшим количеством многоцелевых реакторов, и для обеспечения широкого доступа к этим установкам и их эффективного использования потребуется наладить более широкое международное сотрудничество.

15. В 2013 году на перерабатывающих установках и более старых исследовательских реакторах вновь возникли эксплуатационные проблемы, несмотря на то что ситуация с поставками молибдена-99 (Mo-99) была не столь сложной, как в период 2007-2010 годов, благодаря более грамотному управлению спросом и диверсификации предложения. Главными поставщиками Mo-99, произведенного не на основе ВОУ, остаются Австралия и Южная Африка. В Южной Африке продолжался перевод технологических процессов на исключительное использование НОУ. В Бельгии и Нидерландах продолжилась разработка планов перевода промышленных производственных процессов с ВОУ на НОУ.

16. Чешская Республика, Вьетнам и Венгрия стали странами, свободными от ВОУ топлива, после того как их отработавшее ВОУ топливо было возвращено в Российскую Федерацию.

17. Ядерные технологии, как и прежде, вносят большой вклад в достижение целей в области развития, поставленных в Декларации тысячелетия. Многие государства-члены убеждены в том, что ядерная энергетика поможет решить проблемы изменения климата за счет сокращения выбросов углерода. Важную роль играют и неэнергетические технологии – благодаря программам и техническому сотрудничеству в таких областях, как здоровье человека, продовольствие и сельское хозяйство, управление водными ресурсами, морская и земная среда и производство радиоизотопов и радиационные технологии. Методы ядерной медицины и лучевой терапии безопасным и эффективным образом используются для борьбы с растущей мировой эпидемией рака, которая в предстоящие годы затронет в первую очередь развивающиеся страны. Искоренению бедности и голода способствует работа МАГАТЭ в области продовольствия и сельского хозяйства, в которой используются ядерные технологии для более эффективного управления почвенными и земельными ресурсами и выведения таких сортов сельскохозяйственных культур, которые могут выращиваться на малоплодородных или засоленных землях и в суровых условиях. Другие технологии используются для улучшения здоровья и повышения продуктивности домашнего скота, борьбы с насекомыми-вредителями, уничтожающими посевы и распространяющими болезни животных и человека, и безопасного облучения пищевых продуктов для защиты потребителей от болезней пищевого происхождения и уменьшения порчи продуктов.

18. Устойчивое развитие сельского хозяйства невозможно без устойчивого управления водными ресурсами. Ядерные и изотопные методы используются для точной оценки размера, местоположения и темпов пополнения водных ресурсов, а также для выявления загрязнения подземных вод, что является важной информацией для разработки долгосрочных стратегий управления водными ресурсами. Экологическая устойчивость обеспечивается за счет использования ядерной науки и применений для обнаружения и прослеживания трансформации радиоактивных загрязнителей в океанической и прибрежной зонах, изучения влияния этих загрязнителей на морские организмы, а также для оценки основных морских процессов круговорота тепла и углерода и последствий изменения климата. Использование радиационных технологий для очистки промышленных сточных вод и осадков помогает сохранить водные ресурсы и улучшить состояние почвы, что также способствует экологической устойчивости. Ряд этих ядерных технологий рассматриваются более подробно в настоящем "Обзоре ядерных технологий".

19. С дальнейшим ростом народонаселения растет и спрос на достаточный объем продовольствия; в свою очередь, растет и объем выбросов парниковых газов (ПГ) по всей цепочке производства продовольствия, особенно в секторе животноводства. Инновационные ядерные и смежные технологии призваны сыграть уникальную роль в области питания, здоровья, репродукции и размножения домашних животных, способствуя тем самым достижению высокого уровня продовольственной безопасности с одновременным смягчением последствий изменения климата за счет сокращения выбросов ПГ.

20. Ряд ядерных методов используются для изучения процессов потребления и использования микробного белка и для выведения лучших кормовых культур в целях повышения степени усвояемости кормов и, таким образом, использования энергии, в сочетании с комплексом передовых методов, таких как более эффективное управление пастбищным хозяйством с сокращением выбросов ПГ. Продуктивность животноводства повышается за счет использования прогестерона, меченного йодом-125, в радиоиммуноанализе (РИА) для выявления беременных особей среди скота молочного направления, что затем может быть применено для снижения доли непродуктивных особей, участвующих в выведении потомства. Ядерные методы также помогают в характеристике геномов домашних животных, что облегчает определение полезных генных признаков, например тех, которые отвечают за резистентность к болезням или способность жить в условиях климатического или питательного стресса.

21. Программа действий по лечению рака (ПДЛР) – одна из ведущих программ Агентства – с 2014 года была переведена в Департамент технического сотрудничества (ТС) и преобразована в отдел. Цель этой новой инициативы – еще больше повысить результативность и эффективность осуществления программы. ПДЛР заострит внимание на мобилизации и изыскании ресурсов на деятельность по борьбе с раком, разработке новых и совершенствовании существующих продуктов и услуг, касающихся борьбы с раком, для нужд государств-членов (таких как миссии по рассмотрению в рамках ПДЛР, VUCCnet, МДПП) и налаживании и укреплении связей с партнерами с акцентом на взаимодополняющем характере соответствующих мандатов, в частности с Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ).

22. Рентгеновская визуализация – один из мощнейших инструментов в арсенале врачей, имеющий широкий спектр диагностических применений, включая выявление и стадирование рака. Кроме того, разные формы визуализации используются для составления планов лечения в лучевой терапии, а ядерные методы применяются во всем мире для более эффективного ведения онкологических больных. В медицинской радиологии постоянно растет потребность в переходе от обычной (плёночной) визуализации к цифровой. Несмотря на значительные преимущества цифровой визуализации, такие как более высокая надежность и простота

использования, переход от обычной радиологии к цифровой сопряжен с проблемами, включая высокие капитальные затраты, в том числе на развитие человеческого капитала. Перед развивающимися странами стоит общая задача поиска методологии, соответствующей их нуждам и обстоятельствам, для эффективного перехода от обработки и хранения обычных пленочных изображений к системам цифровой съемки и просмотра изображений.

23. Использование технологии цифровой визуализации в сочетании с телерадиологией дает возможность поставить диагноз независимо от расстояния между местом, где было получено изображение, и местонахождением практикующего врача. Таким образом, телерадиология является эффективным методом в условиях неравномерного географического распределения и нехватки специалистов по визуализации на местах. Растущая роль технологий может помочь в смягчении проблемы нехватки людских ресурсов, но эта технология требует наличия более надежных коммуникационных сетей, а на сотрудников лягут новые обязанности по техническому обслуживанию инфраструктуры.

24. Продолжающаяся по всему миру урбанизация и индустриализация общества ведет к загрязнению запасов пресной воды и образованию осадка коммунально-бытовых сточных вод. Очистка промышленных и сточных вод и осадков при помощи ядерных технологий, таких как ускорители электронов, может помочь в сохранении водных ресурсов и защите фауны и здоровья человека, а также в производстве твердых биологических веществ в качестве удобрений в целях улучшения состояния почвы. Эти методы доказали свою эффективность при очистке сточных вод от промышленных текстильных красителей и санитарной обработке осадка сточных вод для получения высококачественных твердых биологических веществ, применяемых в сельском хозяйстве. По мере обострения дефицита водных ресурсов во всем мире растет интерес к их повторному использованию. Сегодня проводится тестирование радиационных технологий, в сочетании с обычными процессами очистки, на пригодность для производства высококачественной воды в целях непрямого повторного использования для питья, и ожидается, что в ближайшем будущем они станут главными очистными технологиями.

25. Морские экосистемы – это важнейший источник пропитания и заработка для значительной части населения мира. В некоторых регионах этим экосистемам периодически угрожает вредоносное цветение водорослей (ВЦВ). Предполагается, что частота этих явлений может возрасти вследствие изменения климата наряду с расширением хозяйственной деятельности. Содержащиеся в водорослях токсины, в частности, наносят огромный экономический ущерб отрасли по добыче и переработке моллюсков, поскольку предприятия, где выращивают этих моллюсков, приходится закрывать, если уровни содержания токсинов в них оказываются выше нормативных. Частота ВЦВ также возрастает в пресноводных средах, что представляет угрозу для обитателей пресноводных водоемов и домашнего скота, а также для человека. Ядерные методы, такие как рецепторсвязывающий анализ (РСА), являются апробированным средством для эффективного мониторинга содержания водорослевых токсинов в морепродуктах и окружающей среде, а также для изучения последствий изменения климата для ВЦВ и морской экосистемы в целом. Главнейшее преимущество РСА перед более традиционными методами состоит в его высокой избирательности и чувствительности, благодаря чему регулирующие органы и производители могут быть заблаговременно и точно предупреждены о токсичности ВЦВ.

Обзор ядерных технологий – 2014

Основной доклад

А. Энергетические применения

А.1. Ядерная энергетика сегодня

1. По состоянию на 31 декабря 2013 года в мире эксплуатировалось 434 ядерных энергетических реактора суммарной мощностью 371,7 ГВт (эл.)² (см. таблицу А-1). Это немногим меньше – примерно на 1,6 ГВт (эл.) – суммарной мощности 2012 года. В 2013 году к энергосетям были подключены четыре новых объекта: энергоблоки 1 и 2 АЭС "Хунъяньхэ" (1000 МВт (эл.)) и энергоблок 1 АЭС "Янцзян" (1000 МВт (эл.)) в Китае и энергоблок 1 АЭС "Куданкулам" (917 МВт (эл.)) в Индии.

2. Из общего числа находящихся в эксплуатации коммерческих реакторов приблизительно 81% – это реакторы с легководным замедлителем и теплоносителем, 11% – реакторы с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем, 4% – легководные реакторы с графитовым замедлителем и 3% – газоохлаждаемые реакторы (рис. А-1). Две установки представляют собой быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем.

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

Таблица А-1. Действующие и строящиеся ядерные энергетические реакторы в мире
(по состоянию на 31 декабря 2013 года)^а

СТРАНА	Действующие реакторы		Строящиеся реакторы		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2013 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2013 года	
	Кол-во энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Кол-во энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	5,7	4,4	70	7
АРМЕНИЯ	1	375			2,2	29,2	39	8
БЕЛАРУСЬ			1	1 109				
БЕЛЬГИЯ	7	5 927			40,6	52,1	261	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906			13,3	30,7	155	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 884	1	1 245	13,8	2,8	45	3
ВЕНГРИЯ	4	1 889			14,5	50,7	114	2
ГЕРМАНИЯ	9	12 068			92,1	15,4	799	1
ИНДИЯ	21	5 308	6	3 907	30,0	3,5	397	6
ИРАН, ИСЛАМ. РЕСПУБЛИКА	1	915			3,9	1,5	2	4
ИСПАНИЯ	7	7 121			54,3	19,7	301	1
КАНАДА	19	13 500			94,3	16	655	7
КИТАЙ	20	15 977	29	28 774	104,8	2,1	160	0
КОРЕЯ РЕСПУБЛИКА	23	20 721	5	6 370	132,5	27,6	427	1
МЕКСИКА	2	1 330			11,4	4,6	43	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			2,7	2,8	69	0
ОБЪЕД. АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ			2	2690				
ПАКИСТАН	3	690	2	630	4,4	4,4	58	8
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	33	23 643	10	8 382	161,7	17,5	1124	2
РУМЫНИЯ	2	1 300			10,7	19,8	23	11
СЛОВАКИЯ	4	1 815	2	880	14,6	51,7	148	7
СЛОВЕНИЯ	1	688			5,0	33,6	32	3
СОЕДИН. ШТАТЫ АМЕРИКИ	100	99 081	4	5 633	790,2	19,4	3912	4
СОЕДИНЕН. КОРОЛЕВСТВО	16	9 243			64,1	18,3	1527	7
УКРАИНА	15	13 107	2	1900	78,2	43,6	428	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 752	1	1 600	22,7	33,3	139	4
ФРАНЦИЯ	58	63 130	1	1 630	405,9	73,3	1932	3
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 884			29,0	35,9	134	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 308			25,0	36,4	194	11
ШВЕЦИЯ	10	9 474			63,7	42,7	412	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 860			13,6	5,7	58	3
ЯПОНИЯ	48	42 388	2	1 325	13,9	1,7	1646	4
Всего ^с	434	371 733	72	69 367	2 358,9		15 660	7

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 5032 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока мощностью 2600 МВт (эл.) в стадии строительства; на АЭС выработано 39,8 ТВт·час электроэнергии, что составляет 19,1% общего объема выработанной электроэнергии.

с. Суммарный опыт эксплуатации включает также данные по остановленным станциям в Италии (80 лет, 8 месяцев), Казахстане (25 лет, 10 месяцев), Литве (43 года, 6 месяцев) и на Тайване, Китай (194 года, 1 месяц).

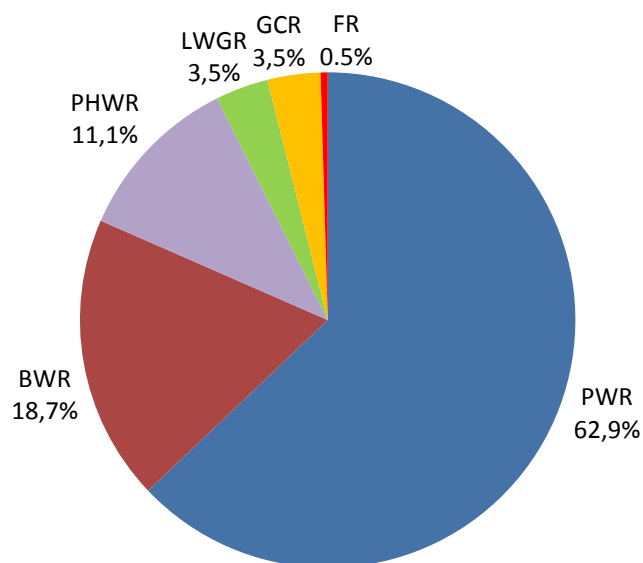


РИС. А-1. Распределение реакторов по типам в настоящее время (BWR – кипящий реактор; FR – быстрый реактор; GCR – газоохлаждаемый реактор; LWGR – легководный реактор с графитовым замедлителем; PHWR – корпусной тяжеловодный реактор; PWR – реактор с водой под давлением).

3. Хотя с 2010 до 2011 года число начавшихся работ по строительству новых реакторов сократилось с 16 до четырех, в 2012 году началось строительство семи новых объектов, а в 2013 году – десяти (рис. А-2), что указывает на повышательную тенденцию со времени аварии на АЭС "Фукусима-дайти". Строительные работы начались на энергоблоках 2 и 3 АЭС "Ви-Си Саммер" и энергоблоках 3 и 4 АЭС "Вогтль" в США, энергоблоке 4 Тяньваньской АЭС и энергоблоках 5 и 6 АЭС "Янцзян" в Китае, АЭС "Син-Хануль-2" (новое название АЭС "Син-Ульчин") в Республике Корея, энергоблоке 2 АЭС "Барака" в Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ) и первом энергоблоке Белорусской АЭС в Беларуси. После ОАЭ, где строительство первой АЭС началось в 2012 году, второй новой страной, начавшей сооружение первой АЭС за последние три десятилетия, стала Беларусь.

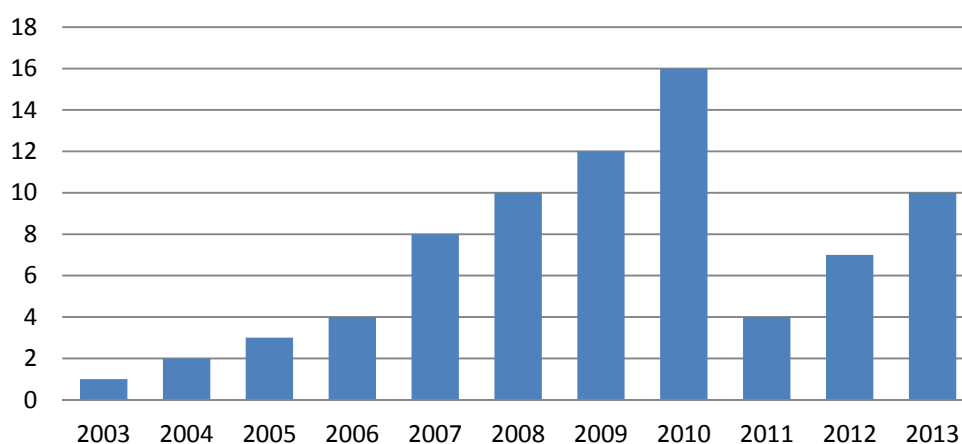


РИС. А-2. Число начавшихся работ по строительству энергетических реакторов

4. В 2013 году было официально объявлено об окончательной остановке шести реакторов: "Кристал-Ривер-3", "Кевони" и энергоблоки 2 и 3 "Сан-Онофре" в США и энергоблоки 5 и 6 АЭС "Фукусима-дайити" в Японии. Это на три реактора больше по сравнению с 2012 годом, но значительно меньше 13 реакторов, остановленных в 2011 году. Кроме того, было объявлено о состоянии "долгосрочного останова" одного реактора в Испании, на АЭС "Санта-Мария-де-Гаронья".

5. На 31 декабря 2013 года в мире велось строительство 72 реакторов, что является рекордно высоким показателем с 1989 года. 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. рис. А-3), прежде всего в Китае. Из 72 строящихся реакторов 48 находятся в Азии, и там же находятся 42 из последних 52 новых реакторов, подключенных к энергосетям с 2000 года.

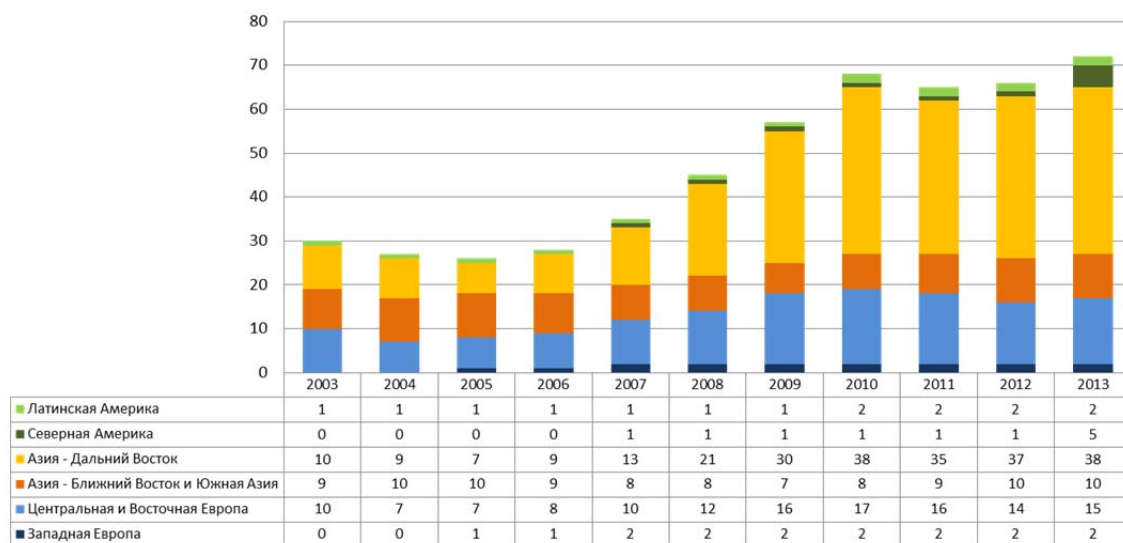


РИС. А-3. Число строящихся реакторов по регионам

6. В 2013 году сохранялась тенденция к повышению мощности и возобновлению или продлению сроков действия лицензий эксплуатируемых реакторов. Комиссия по ядерной безопасности Канады продлила на пять лет действие лицензий на эксплуатацию шести корпусных тяжеловодных реакторов в Пикеринге. Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) США дала добро на повышение мощности трех энергоблоков: "Макгуайр-1", "Макгуайр-2" и "Монтичелло". Государственная инспекция ядерного регулирования Украины продлила на 10 лет действие лицензии на эксплуатацию энергоблока 1 Южно-Украинской АЭС.

7. В 2013 году несколько стран существенно продвинулись в работе по созданию своей первой АЭС. В мае 2013 года Ядерно-энергетическая корпорация Эмиратов (ЭНЕК) в ОАЭ произвела первую заливку бетона в основание второго энергоблока на площадке Барака. Идет изучение заявки, связанной с получением лицензии на строительство еще двух энергоблоков. Первый из четырех энергоблоков намечено ввести в строй к 2017 году, остальные – к 2020 году.

8. В ноябре 2013 года в Беларуси была произведена первая заливка бетона в основание первого энергоблока Белорусской АЭС (рис. А-4). Это первый из двух блоков ВВЭР-1200, который будет сооружен по контракту с компанией "Атомстройэкспорт", Российская Федерация, подписанному в июле 2012 года.



РИС. А-4. Начало строительства первой белорусской АЭС на площадке Островец 6 ноября 2013 года (фото: Дирекция строительства атомной электростанции, Беларусь).

9. В Турции продолжается создание инфраструктуры ядерно-энергетической программы и идет подготовка к строительству четырех энергоблоков ВВЭР-1200 в Аккую. В 2013 году компания, отвечающая за проект АЭС "Аккую", представила отчет об экологической экспертизе проекта. Турция подписала соглашение о сотрудничестве с Японией в отношении второй АЭС в Синопе. В ноябре 2013 года миссия Агентства по комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (ИНИР) (рис. А-5) пришла к выводу, что Турция продвинулась вперед в создании ядерной инфраструктуры, и вынесла рекомендации по поводу дальнейших действий.

10. Ряд стран, принявших решение о создании ядерно-энергетического комплекса, находятся на продвинутых стадиях подготовки инфраструктуры. После подписания Бангладеш в 2011 году межправительственного соглашения с Российской Федерацией о сотрудничестве в строительстве двухблочной АЭС "Рооппур" в 2013 году в стране начались работы по подготовке площадки. В октябре 2013 года Иордания выбрала российскую компанию "Атомстройэкспорт" в качестве предпочтительного подрядчика и в настоящее время ведет работу по характеристике площадки Амра. До двух АЭС планируется построить в Польше. В марте 2013 года миссия ИНИР заключила, что Польша продвинулась вперед в этом направлении, и вынесла рекомендации по поводу дальнейших действий. В 2013 году Вьетнам подготовил технико-экономическое обоснование для двух площадок под строительство АЭС в Ниньтхуане суммарной мощностью 4000 МВт (эл.). В Нигерии и Египте продолжается развитие инфраструктуры для создания ядерно-энергетического комплекса. Иордания, Нигерия и Марокко подали официальные заявки на проведение миссий ИНИР в 2014 году. В январе 2014 года Южная Африка стала первой из числа стран, эксплуатирующих АЭС, которая приняла у себя миссию ИНИР для изучения национальной ядерной инфраструктуры в порядке подготовки к запланированному новому строительству.

11. Ряд стран продолжают изучать возможность создания ядерной энергетики. Некоторые активно готовятся к принятию обоснованного решения о возможной реализации ядерно-энергетической программы, а ряд стран разрабатывают свои энергетические стратегии с возможным включением в энергобаланс ядерной энергетики. На этом этапе в центре внимания находится создание комплексной правовой и регулирующей инфраструктуры, необходимой для ядерно-энергетической программы, наряду с развитием требуемых людских ресурсов.



РИС. А-5. Эксперты Агентства и международные эксперты с турецкими партнерами во время посещения Турции миссией ИНИР, 4-14 ноября 2013 года (фото: министерство энергетики и природных ресурсов Турции).

12. Из 30 стран, уже эксплуатирующих АЭС, 13 стран либо сооружают новые станции, включая Китай, Республику Корея, Российскую Федерацию и США, либо активно завершают ранее приостановленное строительство, включая Аргентину, Бразилию и Словакию. Еще 12 стран, эксплуатирующих АЭС, активно строят планы сооружения новых станций (в частности, Венгрия, Соединенное Королевство, Чешская Республика и Южная Африка) либо завершения приостановленного строительства (например, Румыния и США).

13. Хотя в ядерной отрасли издавна стремились к обеспечению экономии за счет масштабов производства, в настоящее время растет интерес к реакторам малой и средней мощности (РМСМ) – отчасти потому, что они требуют меньших капиталовложений, благодаря чему сокращаются риски, связанные с финансовыми инвестициями. Сегодня в 26 странах эксплуатируются 130 РМСМ суммарной мощностью 58,2 ГВт (эл.); кроме того, 14 из 72 строящихся реакторов – это РМСМ. На стадии НИОКР находятся примерно 45 инновационных концепций РМСМ, о чем подробно рассказывается в разделе В.1.4.

14. Главная функция находящихся сегодня в эксплуатации реакторов – это производство электроэнергии; ряд из них используются в настоящее время также для опреснения воды, выработки технологического тепла и централизованного теплоснабжения (рис. А-6). 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 синтетического жидкого топлива на основе биомассы, угля или других источников углерода; в-третьих, для прямого использования в качестве автомобильного топлива, вероятнее всего в гибридных легковых автомобилях, работающих на аккумуляторах и водородных топливных элементах. Использование АЭС для выработки электроэнергии и неэлектрических применений, т.е. ядерная когенерация, может дать ряд экономических выгод крупным потребителям энергии, поскольку более высокая эффективность работы АЭС ведет к улучшению экономических показателей, снижению выбросов всех загрязнителей, повышению надежности и качества энергии, лучшему использованию ядерного топлива и гибкости подключения к электросети. Ядерной когенерации посвящен раздел В.1.6.

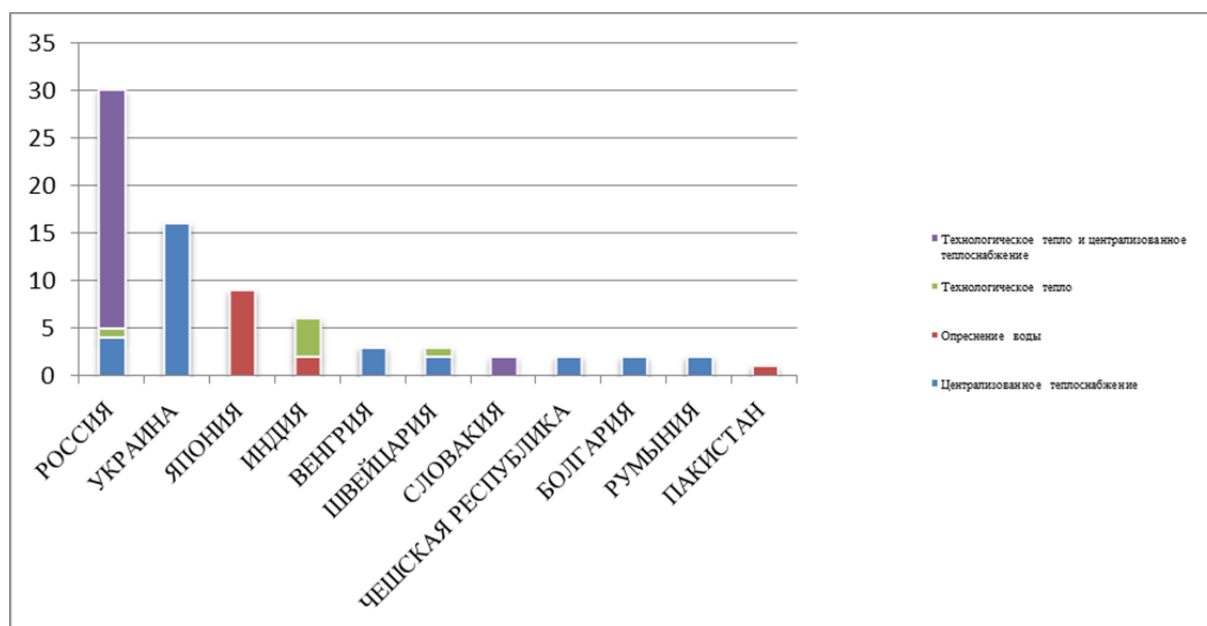


РИС. А-6. Число реакторов, используемых как для производства электроэнергии, так и в иных целях.

А.2. Прогнозы развития ядерной энергетики

15. Свой выбор в пользу ядерной энергетики сделали 30 стран, и примерно такое же число стран изучают возможность включения ядерной энергетики в национальный энергобаланс, находя привлекательными приносимые ею долгосрочные выгоды. Одна из ключевых идей, сформулированных в июне 2013 года в Санкт-Петербурге на Международной конференции МАГАТЭ на уровне министров "Атомная энергетика в XXI веке", состояла в том, что для многих стран ядерная энергетика будет играть важную роль в достижении целей энергетической безопасности и устойчивого развития. Ядерная энергетика как чистый низкоуглеродный источник энергии может помочь странам в удовлетворении растущего спроса на электроэнергию, ограничении выбросов углерода с учетом проблем изменения климата, снятии опасений, связанных с надежностью энергоснабжения, и уменьшении зависимости от органического топлива, цены на которое разнятся в зависимости от региона и подвержены колебаниям.

16. Согласно прогнозам Агентства, подготовленным в 2013 году, к 2030 году рост в секторе ядерной энергетики составит от 17% (по низкому прогнозу) до 94% (по высокому прогнозу). Эти цифры несколько ниже прогнозировавшихся в 2012 году, что объясняется сохраняющимся влиянием аварии на АЭС "Фукусима-дайти", низкими ценами на природный газ и растущей мощностью субсидируемых возобновляемых источников энергии.

17. По высокому прогнозу, общемировая мощность достигнет к 2030 году 722 ГВт (эл.), что почти вдвое выше уровней 2012 года. Эта оценка основывается на оптимистичных, но вполне вероятных предположениях относительно темпов роста экономики и спроса на электроэнергию, особенно на Дальнем Востоке. Высокий прогноз предполагает внесение коррективов в национальные стратегии в отношении изменения климата и укрепление мировой экономики, в результате чего большее число стран включит ядерную энергетику в свой энергобаланс или расширит существующие мощности.

18. По низкому прогнозу, общемировая мощность ядерных установок вырастет в 2030 году до 435 ГВт (эл.), т.е. только на 62 ГВт (эл.) по сравнению с уровнями 2012 года. Эта оценка предполагает сохранение нынешней динамики развития рынков, технологий и ресурсов без сколько-нибудь значительных изменений в законах, политике и регулировании, которые способствовали бы более широкому переходу на ядерную энергетику. Низкий прогноз означает затянувшуюся паузу либо решение не продолжать развитие ядерной отрасли в некоторых странах после аварии на АЭС "Фукусима-дайти".

19. Наибольший рост прогнозируется в регионах, где уже эксплуатируются АЭС, в первую очередь в азиатских странах, включая Китай и Республику Корея. Большой потенциал для роста имеется и в Восточной Европе, включая Россию, а также на Ближнем Востоке и в Южной Азии, включая Индию и Пакистан.

20. Оценки роста ядерного сектора, приводимые в других источниках, также сопоставимы с прогнозами Агентства. В издании "World Energy Outlook 2013" ("Обзор мировой энергетики – 2013»), публикуемом Международным энергетическим агентством (МЭА) Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), ожидается рост мировых ядерно-энергетических мощностей к 2030 году до 513 ГВт (эл.) по "сценарию нынешних стратегий", 545 ГВт (эл.) по "сценарию новых стратегий" и 692 ГВт (эл.) по наивысшему сценарию, согласно которому глобальное увеличение температуры не превысит 2°C. Это означает, что низкий прогноз МАГАТЭ несколько занижен: его оценка на 2030 год на 78 ГВт (эл.) меньше самого низкого прогноза МЭА.

21. На рисунке А-7 сравниваются прогнозы Агентства 2013 года, сценарии МЭА 2013 года и прогнозы Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА) 2013 года, приведенные в издании "The Global Nuclear Fuel Market: Supply and Demand 2013-2030" ("Мировой рынок ядерного топлива: спрос и предложение – 2013–2030 годы"). Высокие сценарии всех трех организаций дают схожие результаты.

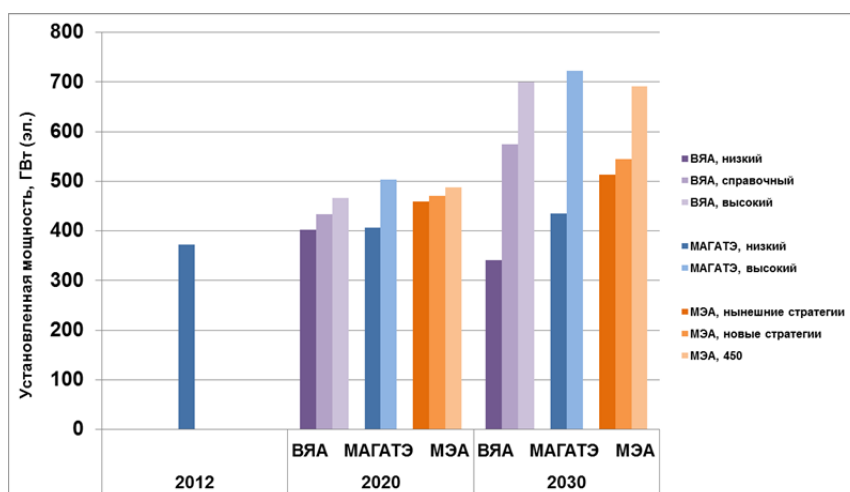


РИС. А-7. Сравнение ядерно-энергетических прогнозов МАГАТЭ, ВЯА и МЭА.

Ядерная энергетика: низкоуглеродная технология³

Из всех источников энергии ядерная энергетика, гидроэнергетика и ветроэнергетика производят наименьший объем выбросов парниковых газов (ПГ) в течение всего жизненного цикла. С введением новых ограничений на выбросы углерода в новом глобальном соглашении по проблеме изменения климата, которое планируется подписать в 2015 году, эти технологии приобретут еще более важное значение. Исходя главным образом из информации в базе данных "Экоинвент" и выводов Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии США, медианное значение выбросов ПГ легководным реактором, включая выбросы в течение всего жизненного цикла – от добычи урана до захоронения отходов, – оценивается в 14,9 г на кВт·ч в пересчете на CO₂.

Гидроэнергетические установки, работающие на горных и других водоемах, а также русловые системы генерируют в течение жизненного цикла объем ПГ, сопоставимый с ядерной энергетикой. Выбросы ветроэнергетических установок зависят от размера (класса) ветряных турбин: небольшие агрегаты (1–3 МВт) фактически производят меньше выбросов на единицу мощности, чем более крупные агрегаты (>3 МВт), на строительство которых расходуется больше энергии и материалов. Небольшие береговые и прибрежные установки производят сопоставимый с ядерными установками объем выбросов, тогда как уровни выбросов на более крупных установках могут быть в 10 раз больше.

Сравнительный анализ этих значений показывает, что выбросы станций, работающих на органическом топливе, примерно в 10 раз превышают выбросы ядерных энергетических установок. К примеру, сжигание каменного угля, по оценкам, дает примерно 1200 г на кВт·ч в пересчете на CO₂, сжигание обычного природного газа – примерно вдвое меньше, т.е. приблизительно 650 г на кВт·ч в пересчете на CO₂. Объем выбросов ПГ в результате сжигания органического топлива потенциально можно сократить за счет использования систем улавливания и секвестрации углерода, в результате чего выбросы составят примерно 200 г на кВт·ч в пересчете на CO₂ для угля и 150 г на кВт·ч в пересчете на CO₂ для природного газа.

Хотя в ядерной энергетике уровень выбросов ПГ изначально низок, в будущем выбросы сократятся еще больше благодаря более энергоэффективному производству обогащенного урана, использованию усовершенствованного ядерного топлива и реакторов с повышенным КПД и увеличению срока службы АЭС, позволяющему избежать строительства новых установок.

А.3. Топливный цикл**А.3.1. Ресурсы и производство урана**

22. В 2013 году спотовая цена на уран оставалась невысокой и стала самой низкой за семилетний период, упав с приблизительно 115 долл./кг U в начале года до приблизительно 90 долл./кг U к концу года. Подобная же тенденция отмечалась в сообщениях о долгосрочной цене, которая составляла приблизительно 150 долл./кг U в начале года и упала приблизительно до 130 долл./кг U в конце года. Низкие цены значительно ограничивали возможности компаний по изысканию средств для проведения разведки и технико-экономических исследований, что скажется в будущем на производстве. Работа над многими ранее объявленными новыми

³ Дополнительная информация о ядерной энергетике и изменении климата имеется на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC58/Documents/>.

проектами, вероятно, будет приостановлена. Согласно оценке, содержащейся в справочнике "Uranium 2011: Resources, Production and Demand" ("Уран-2011: ресурсы, производство и спрос"), известном как "Красная книга" и опубликованном совместно МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) ОЭСР в 2012 году, суммарный выявленный объем традиционных ресурсов урана, извлекаемых при затратах менее 260 долл./кг U, составляет 7,1 млн. т урана (Мт U).

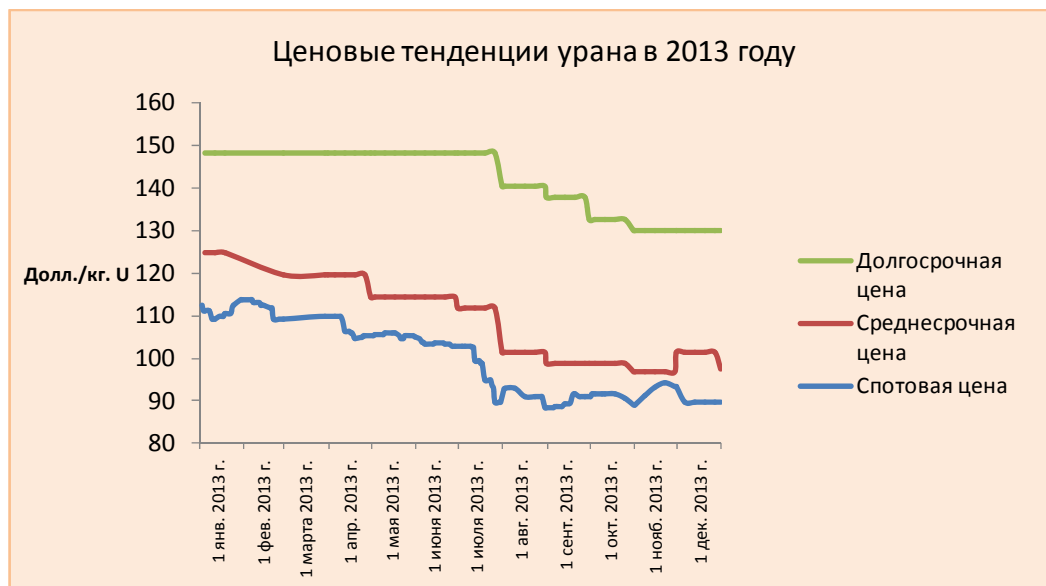


РИС. А-8. Ценовые тенденции урана, основанные на показателях рынка урана TradeTech.

23. В 2013 году сообщения о дополнительных ресурсах поступили из многих стран, включая Австралию, Ботсвану, Королевство Дания (Гренландию), Индию, Иорданию, Канаду, Китай, Монголию, Намибию, Российскую Федерацию, Словакию, Южную Африку, Центральноафриканскую Республику и Чешскую Республику.

24. Продолжалась подготовка к производству урана в качестве побочного продукта на никелевом руднике Талвиваара в восточной Финляндии. Запасы урана на этом руднике составляют 22 000 т U, а ожидаемое производство – 350 т U в год. Согласно прогнозам, экстракция урана начнется в 2014 году.

25. Ведутся исследования морской воды в качестве нетрадиционного источника урана. В мировых океанах с весьма низкими концентрациями, порядка 3,3 миллиардных долей (для сравнения, концентрации в скальных породах составляют от 1 000 до 5 000 миллиардных долей), растворены приблизительно 4,5 миллиарда тонн урана, что представляет собой огромный энергетический ресурс. Некоторые исследования этого потенциального источника продолжаются.

26. Согласно оценкам ВЯА, производство урана составило 53 493 т в 2011 году, 58 394 т в 2012 году и 54 039 т в 2013 году.

27. В 2009 году метод подземного выщелачивания (ПВ) был более распространенным по сравнению с подземной добычей в качестве главного производственного метода и, как ожидается, доля производства с помощью ПВ будет в среднесрочном плане и далее 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. По данным ВЯА, в 2012 году доля ПВ в мировом производстве составляла приблизительно 45%.

28. В Намибии в 2012 году было завершено расширение третьей очереди рудника "Лангер-Хайнрих" компании "Паладин энерджи" с целью увеличения годового производства до 2000 т U. В настоящее время изучается возможность расширения четвертой очереди с целью увеличения годового производства до 3900 т U. Ввиду существующих в настоящее время на рынке условий компания "Арева" приостановила работы по обустройству рудника "Треккопье" в Намибии. Начаты строительные работы на руднике "Хусаб" в Намибии, который предполагается ввести в эксплуатацию в 2015 году и который, возможно, выйдет на полную производственную мощность 5 770 т U в 2017 году. Новый рудник "Имурарен" в Нигере производственной мощностью 5 000 т U, как ожидается, начнет работать в 2015 году.



РИС. А-9. Площадка уранового рудника "Хусаб" в Намибии (фото: "Главная ядерно-энергетическая группа Китая").

29. В Ботсване проводятся технико-экономические исследования в связи с проектом "Летлхакане". О первой лицензии для уранового рудника в Объединенной Республике Танзания было объявлено в апреле 2013 года, но, как ожидается, осуществление проекта задержится ввиду спада на урановых рынках.

30. В шт. Южная Австралия компания «Квазар ресорсиз» объявила о планах начать в 2014 году операции по добыче урана методом ПВ на месторождениях «ФорМайл Ист» и «ФорМайл Вест». В шт. Западная Австралия компания «Торо энерджи» получила окончательное экологическое разрешение федерального правительства на начало работ на исходном месторождении уранового рудника «Вилуна», и эта компания выкупила у компании "Мега ураниум" урановый проект по близлежащему месторождению "Лейк Мейтленд".

31. В шт. Вайоминг, США, в мае и августе 2013 года начато производство в рамках проектов ПВ "Норд батт" и "Лост крик" соответственно.

32. В Турции были завершены предварительные технико-экономические исследования для проекта ПВ "Темрезли" и были выданы необходимые лицензии для разработки. В настоящее время производство с ежегодным объемом 350 т U планируется на 2016 год.

33. В 2013 году парламент Гренландии (Королевства Дания) проголосовал за отмену давнего запрета на экстракцию радиоактивных материалов, включая уран. Это решение позволило продолжить разработку проекта "Кванефельд", в отношении которого в настоящее время проводится технико-экономическое исследование с целью оценки горной добычи для производства урана, редкоземельных элементов и цинка.

34. В центральной Швеции, где в квасцовых сланцах может потенциально содержаться более чем 257 000 т U, планируется программа предварительного металлургического изучения для проекта «Нерке». В Испании в рамках уранового проекта «Саламанка-1» выдана экологическая лицензия для месторождения в провинции Ретортильо и начато осуществление официального

процесса выдачи лицензии и разрешения на разработку. Румыния объявила о планах открытия нового уранового рудника в Неамте, с тем чтобы скомпенсировать истощение ресурсов на действующем руднике в Сучаве.

35. В Узбекистане в 2013 году завершено строительство трех предприятий по добыче урана методом подземного выщелачивания в Центральных Кызылкумах. Министерство земель и ресурсов Китая выбрало шесть урановых рудников в качестве "национальных «зеленых» рудников". Зеленые рудники – это экологически безопасные предприятия горной промышленности, на которых в процессе повседневной эксплуатации особое внимание уделяется вопросам энергосбережения, сокращения выбросов и мелиорации земель. Исламская республика Иран объявила о начале эксплуатации уранового рудника в Саганде и связанного с ним обогатительного предприятия вблизи Ардакана.

36. По оценкам ВЯА, производство урана в 2013 году примерно лишь на 83% покрывало оценочное потребление урана реакторами, составлявшее 64 978 т U. Остальная часть покрывалась за счет пяти вторичных источников: военных запасов природного урана, запасов обогащенного урана, урана, переработанного из отработавшего топлива, МОХ-топлива, в котором уран-235 частично замещен плутонием из переработанного отработавшего топлива, и повторного обогащения хвостов обедненного урана. Исходя из оценочных темпов потребления в 2012 году, срок эксплуатации ресурсов объемом 5,3 Мт U, который представляет собой примерный суммарный объем ресурсов, экономически доступный при нынешних рыночных ценах, составляет 78 лет.

37. Ресурсную базу дополняют нетрадиционные ресурсы урана и торий. Объемы потенциально извлекаемого урана в качестве второстепенного побочного продукта составляют, согласно текущим оценкам, приблизительно восемь миллионов тонн урана. В марте 2013 года компания "Юраниум эквитииз", эксплуатирующая демонстрационную установку в шт. Флорида, США, объявила, что в результате исследования было установлено, что используемый ею технологический процесс извлечения урана из фосфатов «PhosEnergy» является жизнеспособным и экономически эффективным. Был представлен доклад об оценке воздействия на окружающую среду для рудника в Итатайе, Санта-Китерия, Бразилия, для двух заводов по производству фосфатов и уранового концентрата.

38. Мировые ресурсы тория оцениваются примерно в 6-7 миллионов тонн. Хотя торий и используется как топливо на демонстрационной основе, все же для того, чтобы его можно было рассматривать в таком качестве, еще потребуется значительная работа. Осуществляется несколько проектов по редкоземельным элементам, направленных на получение тория как побочного продукта и содержащих торий остатков, и они, как ожидается, выйдут на стадию производства в ближайшем времени в Австралии («Ноланс-Бор»), Королевстве Дания («Кванефельд» в Гренландии) и Южной Африке («Стинкампскрааль»). В апреле 2013 года компания «Тор энерджи» приступила к осуществлению в Хальдене, Норвегия, программы испытаний ториевого смешанного оксидного (МОХ) топлива.

А.3.2. Конверсия, обогащение и изготовление топлива

39. В шести странах (Канаде, Китае, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, США и Франции) эксплуатируются промышленные установки по конверсии закиси-оксида урана (U_3O_8) в гексафторид урана (UF_6), и небольшие установки по конверсии эксплуатируются в Аргентине, Бразилии, Исламской Республике Иран, Пакистане и Японии. Сухая технология отгонки летучих фторидов используется 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 т U в форме UF_6 в год. Однако ожидаются

существенные изменения, поскольку строится новая установка во Франции (установка "Комюрекс II" компании "Арева") и в США ведется реконструкция существующей установки (завод "Метрополис уоркс" фирмы "Ханиуэлл").

40. Предприятие "Комюрекс II" производственной мощностью 15 000 т U, при возможном ее увеличении до 21 000 т U, заменит существующие заводы, расположенные на площадках в Малвеси и Трикастин. Производство на "Комюрекс II" будет постепенно наращиваться после завершения производственного процесса на "Комюрекс I".

41. В июне 2013 года после обновления оборудования и технологического процесса с целью повышения эффективности и сокращения простоев было возобновлено производство на заводе "Метрополис уоркс" фирмы "Ханиуэлл" (Рис. А-10).



РИС. А-10. Новый испаритель фтористого водорода на заводе "Метрополис уоркс" фирмы "Ханиуэлл", шт. Иллинойс, США (фото: Coverdyn).

42. В 2011 году Государственная корпорация по атомной энергии Российской Федерации "Росатом" приняла решение приступить к осуществлению проекта по концентрации всех установок по конверсии на одной площадке Сибирского химического комбината в Северске. Закрывать площадку с установкой по конверсии в Ангарске планируется в апреле 2014 года.

43. В настоящее время суммарный спрос на конверсионные услуги (если предположить, что концентрация урана-235 в хвостах обогащения⁴ равна 0,25%) равен 60 000-64 000 тонн в год.

44. До 2018 года в Казахстане планируется начать строительство нового завода по переработке триоксида урана (UO_3) в рамках совместного предприятия "Казатомпрома" и канадской корпорации "Камеко". Предприятие будет находиться на Ульбинском металлургическом заводе в Усть-Каменогорске, и ожидается, что его мощности по производству урана составят 6 000 т UO_3 в год.

45. В настоящее время совокупные мировые мощности по обогащению составляют приблизительно 65 млн. единиц работы разделения (ЕРР) в год, при этом суммарный спрос составляет приблизительно 49 млн. ЕРР в год. Коммерческие услуги по обогащению предоставляются пятью компаниями: Национальной ядерной корпорацией Китая (НЯКК),

⁴ 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.

компанией "Арева" (Франция), Госкорпорацией "Росатом" (Российская Федерация), компаниями "ЮСЭК" и "Уренко" (обе США).

46. Компания "Уренко" эксплуатирует центрифужные установки в Германии, Нидерландах, Соединенном Королевстве и США. По состоянию на конец 2012 года производственные мощности компании "Уренко" в ЕС составляли в общей сложности 14,7 млн ЕРР в год. Предприятия компании "Уренко" в США (Рис. А-11) в настоящее время имеют лицензию на начальную производственную мощность 3 млн ЕРР в год, и в начале 2013 года было принято решение об инвестировании с целью ее увеличения до 5,7 млн ЕРР в год, с тем чтобы эта производственная мощность была достигнута к 2022 году. Компания "Уренко" направила в КЯР запрос об изменении лицензии таким образом, чтобы она разрешала ей увеличить производственные мощности предприятий компании "Уренко" в США до 10 млн ЕРР в год.



РИС. А-11. Завод по обогащению компании "Уренко", Юнис, шт. Нью-Мексико, США (фото: "Уренко").

47. Завод по газодиффузионному обогащению компании "ЮСЭК" в Падьюке – старейший действующий завод по обогащению – завершил проектный срок промышленной эксплуатации в 2013 году, отработав более 60 лет. Компания «ЮСЕК» намерена продолжать работы на площадке в 2014 году, с тем чтобы обеспечить управление материально-техническими ресурсами, выполнить заказы клиентов и удовлетворить требования в отношении товарооборота в рамках ее арендного договора с Министерством энергетики (МЭ) США.

48. В США проектируются и разрабатываются две новых установки, использующих центрифужное обогащение: установка по обогащению в Игл-Рок компании "Арева" и американский завод центрифужного обогащения (АЗЦО) компании "ЮСЕК". Работы на установке по обогащению в Игл-Рок приостановлены, и компания "Арева" проводит поиск финансовых партнеров и альтернативных финансовых моделей с целью оптимизации капитальных затрат. График компании "ЮСЕК" по завершению строительства АЗЦО зависит от получения финансирования в рамках программы кредитных гарантий МЭ США.

49. На установке компании "Глобал лазер эниричмент" (ГЛЭ) в Уилмингтоне, шт. Северная Каролина, США, в июне 2013 года завершен первый этап программы испытательной петли для демонстрации лазерной технологии обогащения урана. Ожидается, что после завершения более детальных исследований в рамках второго этапа производительность первой промышленной установки достигнет шести миллионов ЕРР в год. По данным компании "Сайлекс", МЭ начало переговоры с ГЛЭ относительно строительства еще одной установки лазерного обогащения на площадке в Падьюке с целью обогащения имеющихся запасов (около 100 000 тонн) хвостов обедненного урана с высокими уровнями содержания.

50. Во Франции компания "Арева" в марте 2013 года запустила установку по обогащению урана "Жорж Бессе II – север" в дополнение к имеющейся у нее установке "Юг", торжественно введенной в эксплуатацию в декабре 2010 года.

51. В 2013 году ПО "Электрохимический завод" компании "ТВЭЛ" в Зеленогорске (Рис. А-12) – один из четырех находящихся в эксплуатации заводов по обогащению урана в Российской Федерации – получил лицензию на продление эксплуатации до 2023 года. В 2012 году компании "ТВЭЛ" и "Казатомпром" достигли согласия относительно формирования паевого капитала для установки по обогащению на Уральском электрохимическом комбинате (УЭХК), планируемая производительность которой составит 5 млн ЕРР в год.



РИС. А-12. Электрохимический завод в Зеленогорске, Российская Федерация (фото: компания "ТВЭЛ").

52. Небольшие установки по обогащению имеются также в Аргентине, Бразилии, Индии, Исламской Республике Иран, Пакистане и Японии. Аргентина модернизирует свой газодиффузионный комплекс в Пильканиеу. Услуги по обогащению в настоящее время импортируются из США.

53. В 2013 году совокупные мировые мощности по деконверсии⁵ оставались на уровне около 60 000 т UF_6 в год.

54. 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 в год. Что касается PHWR, то потребности составили 3000 т U в год. В настоящее время существует 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 диоксид урана (UO_2) в Аргентине, Индии, Канаде, Китае и Румынии.

55. В Китае производственные мощности завода НЯКК по производству топлива в Ибине составили в 2012 году около 600 т U в год. Что касается завода НЯКК в Баотоу, Внутренняя Монголия, который производит тепловыделяющие сборки для PHWR типа CANDU

⁵ Для изготовления обогащенного уранового топлива обогащенный UF_6 необходимо превратить в порошкообразный UO_2 . Это первый шаг в изготовлении обогащенного топлива. Он называется реконверсией или деконверсией.

«Циньшань» (200 т U в год), то его мощности по производству топлива были увеличены до 400 т U в год. В Баотоу строится новый завод по производству топлива для китайских реакторов AP1000.

56. Завод по производству ядерного топлива в Казахстане, сооружение которого планируется завершить в 2014 году, является совместным предприятием компаний «Арева» и «Казатомпром», и его предполагаемая мощность составит 1200 т U в год.

57. Неподалеку от Смолино, Украина, было продолжено строительство завода по производству топлива для ВВЭР-1000, проектная мощность которого составит 400 т U в год.

58. В течение последних нескольких лет компания "ТВЭЛ" разрабатывала топливную сборку для PWR, и в 2014 году планируется отгрузить четыре опытных сборки для проведения испытаний на PWR шведской АЭС "Рингхальс-3".

59. 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 в год. На одной производственной линии завода компании "Арева" в Романе, Франция, производится топливо в объеме около 80 т тяжелого металла (ТМ) RepU в год для реакторов LWR во Франции. Нынешние мировые мощности по изготовлению MOX-топлива составляют около 250 т ТМ; основные заводы расположены в Индии, Соединенном Королевстве и Франции, и несколько предприятий меньшей мощности находятся в Российской Федерации и Японии.

60. 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 и в Озерске в ПО "Маяк".

61. В 2013 году во всем мире MOX-топливо использовалось приблизительно в 30 LWR.

62. В октябре 2013 года на установке по изготовлению топлива "Мелокс" компании "Арева" началось изготовление MOX-топлива для АЭС "Борсселе" в Нидерландах. За последние 30 лет на установке компании "Арева" в Ла-Аге было переработано 375 тонн отработавшего топлива АЭС "Борсселе".

Обеспечение гарантированных поставок

63. В декабре 2010 года Совет управляющих одобрил создание в Казахстане банка низкообогащенного урана (НОУ) МАГАТЭ. В течение 2012 и 2013 годов Секретариат Агентства продолжил работу в отношении финансовых, юридических и технических мер и оценок площадок для создания банка. Для его создания государства-члены, ЕС и Инициатива по сокращению ядерной угрозы (ИЯУ) взяли обязательства по взносам на сумму свыше 150 млн долл. К концу 2013 года выплаты в счет объявленных взносов были произведены в полном объеме ИЯУ (50 млн долл.), Кувейтом (10 млн долл.), ОАЭ (50 млн долл.), Норвегией (5 млн долл.) и США (около 50 млн долл.); ЕС выплатил 20 млн евро в счет своего обязательства по взносам в размере 25 млн евро⁶.

⁶ Другие механизмы гарантированных поставок, существующие сейчас, описываются в «Обзоре ядерных технологий – 2012».

А.3.3. Конечные стадии ядерного топливного цикла

64. Применяются две различные стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом. Топливо перерабатывается с целью извлечения материала (урана и плутония), пригодного к использованию в новом топливе, или просто рассматривается как отходы и хранится перед окончательным захоронением. В настоящее время такие страны, как Индия, Китай, Российская Федерация и Франция, перерабатывают свое отработавшее топливо, тогда как другие страны, такие, как Канада, Финляндия и Швеция, предпочитают прямое захоронение на территориях принимающих общин-добровольцев. Большинство стран еще не приняло решения относительно предпочтительной стратегии и в настоящее время хранит отработавшее топливо и следит за разработками, связанными с обоими альтернативными вариантами.

65. Директива 2011/70/Euratom Совета Европейского союза (ЕС) юридически обязывает государства – члены Европейского Союза устанавливать и поддерживать политику обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами. Внимание в области обращения с отработавшим топливом также уделялось демонстрации поведения отработавшего топлива в системах сухого хранения, поскольку признается, что во многих странах, имеющих развитые ядерно-энергетические программы, хранилища высокоактивных отходов не появятся в течение нескольких десятилетий.

66. В январе 2013 года в СК было начато строительство сухого хранилища для отработавшего топлива АЭС "Сайзуэлл Б" компании "ЭДФ энерджи". Его предполагается ввести в эксплуатацию в 2015 году.

67. После приостановки в 2012 году всех окончательных решений относительно заявок на строительство новых реакторов или возобновлений лицензий реакторов в ожидании обновления "решения, связанного с уверенностью в отношении отходов" и "правила временного хранения" КЯР США опубликовала в марте 2013 года документ "Процесс определения задач заявления об общем воздействии на окружающую среду в связи с уверенностью в отношении отходов: краткий доклад". Проект заявления об общем воздействии на окружающую среду и предлагаемое правило временного хранения были опубликованы с целью обсуждения общественностью в 2013 году. В то время как Управление по вопросам уверенности в отношении отходов подготавливает обновленный вариант решения, связанного с уверенностью в отношении отходов, и правила временного хранения, КЯР продолжает рассматривать заявки на реакторы, заявки на продление действия лицензий и заявки на продление действия разрешений для независимых хранилищ отработавшего топлива на конкретных площадках.

68. В 2013 году из всех АЭС было выгружено приблизительно 10 000 т ТМ в виде отработавшего топлива. Общий совокупный объем отработавшего топлива, которое было выгружено во всем мире по состоянию на декабрь 2013 года, составляет приблизительно 370 500 т ТМ, из которых приблизительно 253 700 т ТМ хранятся в приреакторных или внереакторных хранилищах. Менее одной трети суммарного объема отработавшего топлива, выгруженного во всем мире – примерно 112 800 т ТМ – было подвергнуто переработке. В 2013 году общемировые мощности по переработке промышленного масштаба, сосредоточенные в четырех странах (Индии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве и Франции), составили приблизительно 4800 т ТМ в год.

69. В Индии в 2013 году было продолжено строительство комбината топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах в Калпаккаме. Будущая установка предназначена для изготовления топлива для разрабатываемого прототипа быстрого реактора-размножителя и еще двух последующих энергоблоков.

70. Принадлежащая компании "Джапан ньюкLEAR фьюэл лимитед" (ДжНФЛ) промышленная установка по переработке в Роккасё производительностью 800 т ТМ в год, работа которой была временно приостановлена вследствие землетрясения и цунами 11 марта 2011 года, в конце 2013 года была готова к возобновлению эксплуатации. В одной из двух плавильных печей было успешно завершено пробное производство остеклованных отходов. При возобновлении эксплуатации после получения разрешений от регулирующих органов максимальная производственная мощность установки по переработке составит 800 т в год. (Рис. А-13)



РИС. А-13. Завод по переработке в Роккасё, Япония (фото: ДжНФЛ).

71. Китай объявил о предложении относительно переработки отработавшего реакторного топлива на новой установке производительностью 800 т отработавшего топлива в год, которую планируется соорудить в сотрудничестве с компанией "Арева".

72. В октябре 2013 года правительство СК объявило о достижении согласия с компанией ЭДФ в отношении строительства в СК первой АЭС за последние 20 лет. В экспертном докладе правительства СК от 2008 года указывается, что новое строительство следует проводить при условии, что отработавшее топливо не будет перерабатываться. Согласно нынешней стратегии обращения с отработавшим топливом на АЭС "Хинкли-Пойнт С", предусматривается его приреакторное хранение до 10 лет с последующим временным хранением в независимом хранилище отработавшего топлива до тех пор, пока не появится установка для геологического захоронения. Проектная основа этого хранилища предусматривает мокрое хранение с использованием теплообменников, погруженных в бассейн для хранения, и пассивным теплосъемом. Технология такого типа также подвергается оценке в Бразилии.

73. В период с марта по май 2013 года девять контейнеров для сухого хранения, находившихся в приморской зоне хранения контейнеров на АЭС "Фукусима-дайити", были перенесены в общий бассейн для хранения отработавшего топлива с целью проведения инспекций и впоследствии помещены в новую зону временного хранения контейнеров. Инспекции показали, что защитная оболочка контейнеров и целостность топлива не были нарушены. В ноябре 2013 года на площадке были начаты дальнейшие операции по извлечению топлива, включая штатное извлечение топлива из бассейна для хранения отработавшего топлива на 4-м энергоблоке, что стало важной вехой на пути к снижению риска и выводу из эксплуатации.

74. В октябре 2013 года японская фирма "Рисайклабл фьюэл сторидж компани" (филиал Токийской электроэнергетической компании и Токийской атомно-энергетической компании) завершила строительство здания временного хранилища для отработавшего топлива в городе Муцу, префектура Аомори. Имеющаяся лицензия разрешает хранение 3000 т U отработавшего топлива, причем планируемая окончательная емкость составляет 5000 т U. Заключительные официальные испытания были засвидетельствованы Управлением по ядерному регулированию. Однако дальнейший прогресс зависит от сертификации с учетом требований безопасности УЯР.

А.3.4. Снятие с эксплуатации, восстановительные мероприятия и обращение с радиоактивными отходами

75. Радиоактивные отходы образуются в результате применения ядерных технологий для производства энергии, исследовательской деятельности, медицинского и промышленного применения. Помимо отработавшего топлива, заявляемого в качестве отходов, или потоков отходов, образующихся в качестве побочного продукта при переработке отработавшего топлива, радиоактивные отходы образуются при эксплуатации ядерных установок, при снятии их с эксплуатации и при проведении связанных с этим восстановительных мероприятий на площадках, в том числе на бывших ядерных объектах и при современном использовании в военных целях, а также на площадках, где в прошлом происходили аварии. Для безопасного обращения с радиоактивными отходами необходимо надлежащее обращение с потоками отходов, их обработка и кондиционирование, а также обеспечение достаточных мощностей по хранению, перевозке между установками и окончательному захоронению.

Оценки инвентарного количества радиоактивных отходов в мире

76. Объем радиоактивных отходов в мире, о хранении которых сообщалось в 2013 году, составлял 68 млн куб. м (таблица А-2). Суммарный объем радиоактивных отходов, захороненных до 2012 года, составил приблизительно 76 млн куб. м, что включает закачанные в глубокие скважины около 29 млн куб. м жидких отходов, а также захоронение примерно 4000 куб. м твердых высокоактивных отходов (ВАО), главным образом образовавшихся в результате чернобыльской аварии. Объем ежегодно накапливаемых обработанных ВАО является довольно постоянным, и в среднем в мире их накапливается примерно 850 куб. м в год (не считая отработавшего топлива).

77. По состоянию на декабрь 2013 года в мире функционировало 467 хранилищ и 154 пункта захоронения отходов⁷ для обращения с этими инвентарными количествами отходов.

⁷ 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/>.

Таблица А-2. Оценка инвентарного количества радиоактивных отходов в мире за 2013 год (самые последние данные)⁸

Класс отходов	Хранение ⁹ [кубических метров]	Суммарный объем захоронения [кубических метров]
Весьма низкоактивные отходы (ВНАО)	163 000¹⁰	193 000
Низкоактивные отходы (НАО)	56 663 000¹¹	64 992 000¹²
Среднеактивные отходы (САО)	8 734 000	10 588 000
Высокоактивные отходы (ВАО)	2 744 000	72 000¹³

Источник: Сетевая база данных по обращению с отходами (2013 год), официальные национальные доклады и имеющиеся в открытом доступе данные.

Снятие с эксплуатации

78. По состоянию на декабрь 2013 года во всем мире были окончательно остановлены 149 энергетических реакторов. В общей сложности к настоящему времени полностью демонтированы 16 энергетических реакторов; еще 52 находятся в процессе демонтажа; 59 реакторов остаются в режиме безопасного закрытия или ожидают начала окончательного демонтажа; 3 реактора находятся на консервации; и 17 еще не имеют конкретной стратегии снятия с эксплуатации. Около 40% из 434 действующих во всем мире ядерных реакторов

⁸ Цифры, указанные в таблице А-2, представляют собой оценки, а не точные данные о количествах 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; и с) добавления в базу данных новых государств-членов.

⁹ 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.

¹⁰ Оценка в отношении ВНАО гораздо ниже, чем в отношении НАО, поскольку многие государства-члены, имеющие значительные объемы отходов, не определяют класс отходов ВНАО. 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.

¹¹ Оценка в отношении НАО, находящихся на хранении, не включает примерно 4x10⁸ куб. м 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 года). По этой причине ситуация с этими отходами в отношении включения в эту оценку пока является неопределенной.

¹² Значительное изменение в оценке суммарного объема захоронения НАО и САО в сравнении с предыдущим докладом объясняется включением оценочных данных, представленных Российской Федерацией.

¹³ 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 проектное решение/место или техническое решение. Украинское захоронение ВАО является результатом аварийной очистки после аварии на блоке 4 Чернобыльской АЭС.

находятся в строю уже более 30 лет, причем около 7% из них – более 40 лет. Хотя некоторые из них могут продолжать работать до 60 лет, многие будут выведены из эксплуатации в ближайшие 10-20 лет. За исключением особых случаев, например, реакторов с графитовым замедлителем, для которых еще не имеется планов захоронения отходов, в целом предпочтительной стратегией снятия с эксплуатации в большинстве государств-членов является немедленный "демонтаж", то есть, удаление с площадки радиологического инвентарного количества и снятие регулирующего контроля через 15-25 лет после остановки.

79. Из 480 окончательно остановленных исследовательских реакторов и критических сборок 70% уже полностью выведены из эксплуатации. Несколько сотен других ядерных установок, таких как установки по обращению с радиоактивными отходами или установки топливного цикла, были сняты с эксплуатации или подвергаются демонтажу.

80. Государства-члены, имеющие крупномасштабные ядерно-энергетические программы, т.е. те, которые начали производство энергии на АЭС в 1950-х и 1960-х годах, достигли значительного прогресса в сфере управления объектами, оставшимися от их ранней деятельности. В этих странах разработаны технологии и экспертные знания, необходимые для осуществления программ снятия с эксплуатации и восстановления окружающей среды. Такими экспертными знаниями располагают регулирующие органы, организации, занимающиеся осуществлением, и ряд инженерно-технических организаций, предоставляющих владельцам установок и площадок, подлежащих выводу из эксплуатации или восстановлению, услуги цепочки поставок. Однако для полного восстановления основных площадок по производству урана и площадок, использовавшихся на ранних этапах для исследовательской деятельности, потребуется еще несколько десятилетий дальнейших усилий. Примерами программ, в рамках которых в 2013 году был достигнут значительный прогресс в плане снятия с эксплуатации АЭС, являются:

- Франция – дезактивация и демонтаж парогенераторов на АЭС "Шооз А" и их захоронение на французской площадке для захоронения весьма низкоактивных отходов в Морвильере;
- Испания – завершение сегментации и извлечения внутрикорпусных узлов реактора на АЭС "Хосе Кабрера";
- СК – дезактивация бассейнов для отработавшего топлива на АЭС "Бредуэлл" в рамках подготовки к началу безопасного закрытия в 2015 году;
- США – текущее удаление низкоактивных отходов с АЭС "Зион" в качестве части решения о немедленном проведении демонтажа взамен ранее принятой стратегии отсроченного демонтажа.

81. В государствах-членах, не имеющих крупномасштабных ядерно-энергетических программ, темпы прогресса зачастую оказываются более медленными. Причинами этого являются отсутствие надлежащих юридических, политических и регулирующих основ и связанных с ними механизмов финансирования, отсутствие надлежащих технологий и экспертных знаний и не отвечающие требованиям механизмы взаимодействия с соответствующими заинтересованными сторонами.

82. Компетентные органы Японии продолжили осуществление среднесрочной и долгосрочной дорожной карты снятия с эксплуатации энергоблоков 1-4 АЭС "Фукусима-дайити" компании ТЕПКО (обнародованной в 2011 году и обновленной в июне 2012 года). На этапе 1 дорожной карты (декабрь 2011 года – декабрь 2013 года) основное внимание уделялось работам по очистке и стабилизации в рамках подготовки к удалению топлива из бассейнов для отработавшего топлива (в ходе этапа 2). Удаление топлива на энергоблоке 4 началось в ноябре 2013 года, на месяц ранее первоначального графика. Удаление топлива на энергоблоке 3 запланировано на 2015 год, а на энергоблоках 1 и 2 – на 2017 год. Также подготавливаются

планы удаления в рамках этапа 3 (после декабря 2021 года) обломков топлива из реакторных зданий. В зависимости от сейсмостойкости поврежденных зданий, для этого может потребоваться сооружение на зданиях новых внешних конструкций, способных выдерживать вес машин для перегрузки топлива. Эти вопросы будут рассмотрены в течение 2014 года, и будут предложены соответствующие решения. Продолжались широкомасштабные НИОКР по разработке дистанционно управляемых устройств для обнаружения повреждений первичной защитной оболочки ядерных реакторов.

Восстановительные мероприятия

83. Восстановительные мероприятия включают любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения радиационного облучения, вызываемого имеющимся радиоактивным загрязнением наземных территорий, посредством мер, применяемых в отношении собственно радиоактивного загрязнения (источника) или путей поступления облучения к людям. В мире имеется много площадок, на которых осуществляются или необходимо осуществить восстановительные мероприятия. Работы по восстановлению обычно связаны с громадными ресурсами и требуют надлежащего планирования, хорошего руководства проектами и высококвалифицированных специалистов, а также надлежащей регулирующей основы. Агентство анализирует влияние этих специфических аспектов осуществления проектов по восстановлению и снятию с эксплуатации в рамках проекта по рассмотрению трудностей при осуществлении программ снятия с эксплуатации и восстановления окружающей среды (СИДЕР). Ожидается, что по завершении этого проекта Агентство будет в состоянии четко представлять себе, почему в этой деятельности не достигнуто значительного прогресса, и предложить креативные и инновационные решения.

84. Важным событием в 2013 году явился прогресс, достигнутый в работе по очистке территорий, затронутых аварией на АЭС "Фукусима-дайти". Компетентными органами Японии были выделены значительные средства на разработку стратегий и планов и проведение мероприятий по реабилитации обширных загрязненных территорий за пределами площадки. Особое внимание было уделено мерам, позволяющим эвакуированным жителям вернуться в свои дома. Было также немало сделано с точки зрения координации мер по реабилитации с усилиями по реконструкции и возрождению. Проведенная Агентством в октябре 2013 года последующая миссия оказала Японии помощь в оценке прогресса, достигнутого после предыдущей миссии в 2011 году, причем были рассмотрены стратегии, планы и работа по восстановлению, и международное сообщество было проинформировано о выводах, сделанных миссией.

Радиоактивные отходы прежней деятельности

85. Контактная экспертная группа Агентства по международным проектам в области ядерного наследия в Российской Федерации (КЭГ) способствует эффективному осуществлению международных программ в этой области. В настоящее время близится к завершению программа демонтажа выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок. Реакторные блоки подводных лодок с выгруженным топливом проходят процесс герметизации и помещения в хранилища для долгосрочного хранения. В настоящее время 65 реакторных блоков подводных лодок помещены на хранение в северо-западном и три в дальневосточном регионе Российской Федерации. Аналогичная программа выполняется в США, которые демонтировали 114 атомных подводных лодок и судов. В северо-западном (Рис. А-14) и дальневосточном регионах Российской Федерации сооружаются два региональных центра кондиционирования и хранения радиоактивных отходов. Успешно осуществляется также международная программа утилизации мощных радиоизотопных термоэлектрических генераторов, которые использовались в маяках на побережье Российской Федерации.



РИС. А-14. Строительство регионального центра кондиционирования и долгосрочного хранения радиоактивных отходов в северо-западном регионе России (фото: Energiewerke Nord GmbH).

Обработка и кондиционирование радиоактивных отходов

86. Радиоактивные отходы возникают при функционировании различных элементов ядерного топливного цикла, включая энергетические реакторы, установки по переработке и по обработке отходов и деятельность по снятию с эксплуатации. К методам обработки с целью снижения радиоактивности относятся химическое осаждение, добавление мелкодисперсных поглотителей радиоактивности (в обоих случаях с последующим удалением осадка) и использование ионообменных поглотителей в форме колонок. Могут также использоваться процессы выпаривания и обратного осмоса (фильтрации на атомном уровне). Характеристики специализированных ионообменных поглотителей все более совершенствуются посредством повышения избирательности в отношении важнейших радионуклидов и улучшения физических свойств для использования колонок, например, путем использования композитных материалов. Обработка жидких отходов была важной особенностью восстановительных мероприятий после аварии на АЭС "Фукусима-дайти" благодаря использованию установки по обработке, поставленной в рамках международных усилий. Все вышеупомянутые процессы в совокупности позволяют удалять в Фукусиме большие количества различных радионуклидов.

87. Кондиционирование отходов включает иммобилизацию радионуклидов, помещение отходов в контейнеры или использование дополнительных упаковок. К обычным методам иммобилизации относятся отверждение жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности с использованием цемента, битума или стекла и остекловывание жидких радиоактивных отходов высокого уровня активности в матрице из стекла или заключение их в металлическую матрицу. Современные тенденции обеспечивают дальнейшее улучшение характеристик процессов иммобилизации низко- и среднеактивных отходов (НСАО). В Египте, Индии, Российской Федерации, Сербии и США технологические процессы были модифицированы путем добавления присадок с целью улучшения физических свойств цемента и адаптации параметров иммобилизации для конкретных видов или групп видов отходов и противодействия потенциально вредному влиянию неактивных видов отходов. Во Франции, Китае, России, Швейцарии, СК и США были разработаны новые связующие, с тем чтобы преодолеть ограничения свойств портланд-цемента. Франция сообщила о стабилизации растворимых солей цинка с использованием кальцийсульфоалюминатного цемента (КСАЦ).

88. Агентством недавно была проведена оценка четырех типов цементирующих материалов: КСАЦ, кальцийалюминатного цемента (КАЦ), геополимера, изготовленного из жидкого стекла и метаксолина (СИАЛ), и магнийфосфатного цемента¹⁴. Недавний положительный опыт строительства с использованием геополимерных материалов позволяет предполагать, что возможно их более широкое применение при кондиционировании отходов. Геополимеры СИАЛ показали повышенную прочность на сжатие и низкую выщелачиваемость цезия-137, и они лицензированы для использования в Чешской Республике и Словакии при отверждении радиоактивного шлама и смол. Исследования, проводимые в Австралии, Российской Федерации, Словакии и СК, могут привести к получению новых знаний, в том числе информации об их долговечности.

Хранение радиоактивных отходов

89. Хранение позволяет обеспечить надлежащее сохранение и изоляцию отходов и облегчает их извлечение для дальнейшей обработки или захоронения. В течение прошедшего десятилетия наблюдались определенные тенденции в сфере хранения радиоактивных отходов, такие как продление сроков хранения и повышение безопасности хранилищ. Они стали более заметными, в частности, в отношении радиоактивных отходов более высокого уровня активности. Одно из руководств по образцовой практике регулирования в сфере хранения радиоактивных отходов содержится в опубликованном в 2012 году руководящем документе Управления по снятию с эксплуатации ядерных объектов Соединенного Королевства "Interim Storage of Higher Activity Waste Packages – Integrated Approach" ("Промежуточное хранение упаковок с отходами более повышенного уровня активности – комплексный подход"). Применяемые принципы включают: обращение с отходами в течение всего жизненного цикла; использование стойких упаковок для отходов и условий хранения, которые минимизируют образование отходов; профилактика лучше лечения; предвидение на стадии проектирования; эффективное управление знаниями. В указанном руководстве предусматривается, что срок эксплуатации хранилищ должен составлять минимум 100 лет.

90. Проектный срок службы новых хранилищ, как правило, должен составлять по крайней мере 100 лет. Кроме того, если в качестве хранилища предлагается использовать надлежащим образом видоизмененные существующие сооружения, необходимо подтвердить, что данное сооружение отвечает современным строительным стандартам, все материалы, выбранные для осуществления модификаций, приемлемы, а сооруженное в результате хранилище соответствует требуемому конструкцией расчетному сроку службы минимум 100 лет.

Захоронение радиоактивных отходов

91. В мире функционируют пункты захоронения для всех категорий радиоактивных отходов за исключением ВАО и/или отработавшего топлива. Они включают траншейное захоронение очень низкоактивных отходов (ОНАО) (например, в Испании, Франции и Швеции) или (низкоактивных отходов) 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); подповерхностные инженерные сооружения для низко- и среднеактивных отходов (НСАО) (например, в Финляндии и Швеции); скважинное

¹⁴ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Behaviours of Cementitious Materials in Long Term Storage and Disposal of Radioactive Waste: Results of a Coordinated Research Project, IAEA TECDOC-1701, IAEA, Vienna (2013). (МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, "Поведение цементирующих материалов при долгосрочном хранении и захоронении радиоактивных отходов: результаты проекта координированных исследований", IAEA TECDOC-1701, МАГАТЭ, Вена (2013)).

захоронение НАО, осуществляемое в США; геологические хранилища НСАО (например, в Венгрии 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).

92. Предпринимаются шаги по лицензированию пунктов геологического захоронения ВАО и/или отработавшего топлива в Финляндии, Франции и Швеции.

93. Разработка двух установок для геологического захоронения осуществляется в Канаде: в отношении первой - пункта захоронения НАО и среднеактивных отходов (САО) на площадке АЭС «Брус» компании "Онтарио пауэр дженерейшн" - в настоящее время идет процесс лицензирования, причем в 2013 году публичные слушания были завершены, и ожидается, что в конце 2014 или начале 2015 года будет принято решение регулирующего органа. Вторая - пока не определенная площадка для хранилища отработавшего ядерного топлива и центра экспертизы Канады. Работая с 21 территориальной общиной-добровольцем - эти общины выразили интерес к ознакомлению с канадским планом безопасного и долгосрочного обращения с отработавшим ядерным топливом - Организация по обращению с ядерными отходами завершила первый этап предварительной оценки по восьми из этих общин, и она продолжает оценку по остальным 13. По четырем из этих первоначальных восьми общин вынесено суждение об их приемлемости для проведения следующего этапа оценки.

94. В Китае продолжалось осуществление среднесрочного плана по обращению с НСАО, который заключается в том, чтобы к 2020 году иметь пять региональных пунктов захоронения общей вместимостью для целей захоронения примерно в 1 млн м³. Из них эксплуатируются два – в настоящее время их вместимость составляет 20 000 м³ и 80 000 м³, третий находится в стадии сооружения, а еще два пункта предстоит спроектировать. Согласно современным прогнозам Китая потребности в геологическом захоронении определяются объемом 140 000 тонн отработанного топлива, источником которого являются 48 имеющихся реакторов. Необходимо решение проблемы захоронения соответствующих ВАО после переработки. Планы перехода к геологическому захоронению ВАО включают выбор площадки (2014 год), сооружение (2017 год) и к 2020 году – начало эксплуатации подземной исследовательской лаборатории; к 2040 году – проведение НИОКР на месте и начало сооружения глубинного геологического хранилища; начало операций по захоронению – к 2050 году.

95. В Финляндии компания «Посива» рассчитывает получить лицензию на сооружение глубинного геологического хранилища к концу 2014 года или началу 2015 года, и она готовится провести полномасштабную демонстрацию, с тем чтобы решить остающиеся научно-технические вопросы, что сделает возможным получение лицензии на эксплуатацию. Приступить к операциям «Посива» планирует в начале 20-х годов.

96. Французское Национальное агентство по обращению с радиоактивными отходами (АНДРА) ведет подготовку к промышленной стадии разработки проекта захоронения САО и ВАО с возможностью перезахоронения «Сижео», и оно провело рассмотрение целесообразности и официальный процесс участия населения в качестве заинтересованной стороны, что необходимо сделать до подачи заявки на лицензию. В 2013 году планы реализации проекта «Сижео» достигли стадии заключительных публичных консультаций, проводимых Commission nationale du débat public - национальной комиссией по публичным дебатам. После ряда протестов первоначальные планы проведения публичных встреч были заменены онлайн-дебатами. В рамках этого процесса был учрежден гражданский комитет и впоследствии он принял решение не возражать априорно против проекта "Сижео". При том, что АНДРА рассчитывает подать заявление о выдаче лицензии в 2015 году и

получить лицензию на строительство в 2018 году, начать операции по захоронению она планирует к 2025 году.

97. В Германии в июне 2013 года был принят закон о выборе площадки для пункта захоронения. Процесс выбора новой площадки для пункта захоронения тепловыделяющих отходов осуществит независимая комиссия. Из нового процесса не исключается намечавшаяся ранее разведочная установка в Горлебене.

98. После церемонии открытия в декабре 2012 года началась регулярная эксплуатация пункта захоронения в Батапати, Венгрия, проектная вместимость которого составляет 40 000 м³ НСАО, поступающих с АЭС. Проектом предусмотрено, что параллельно с размещением отходов в существующих ячейках сооружаются дополнительные новые ячейки.

99. В Республике Корея заканчивается сооружение Центра по захоронению радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности в Волсоне, и в июне 2014 года должна вступить в строй первая очередь этого Центра, и тогда здесь можно будет разместить 100 000 бочек. Правительство создало комиссию для публичного обсуждения будущих вариантов обращения с отработавшим топливом. Предполагается расширить возможности подземного исследовательского туннеля КАЭРИ, с тем чтобы на его основе можно было осуществлять намечаемую программу НИОКР в поддержку геологического захоронения.

100. В настоящее время на этапе детального планирования находится разработка литовского пункта приповерхностного захоронения НАО, в то время как во второй половине 2014 года предполагается начать сооружение хранилища ОНАО. До завершения строительства пункта захоронения упаковки отходов размещаются в буферном хранилище емкостью 4000 м³, лицензию на эксплуатацию которого Государственная инспекция по безопасности ядерной энергетики выдала в мае 2013 года.

101. Польский геологический институт ведет подготовительную работу в целях возобновления разработки программы геологического захоронения. После предварительного определения характеристик площадки для выбора потенциальной площадки для пункта приповерхностного захоронения наступит этап местных публичных и административных консультаций.

102. В Российской Федерации ведутся работы по эскизному проектированию создания подземной лаборатории на Нижнеканском гранитоидном массиве на глубине 500 м в Красноярском крае в Сибири, при этом преследуется цель изучить возможность захоронения долгоживущих отходов высокого и промежуточного уровня активности. Планируется, что емкость хранилища составит 7500 контейнеров с тепловыделяющими отходами и 155 000 м³ отходов, не выделяющих тепло. В Ленинградской области выбрана площадка для хранилища НАО и короткоживущих САО в глинистой формации на глубине 60-70 м (рис. А-15). На начальном этапе его проектная вместимость составит 50 000 м³ НАО в камерах для захоронения шахтного типа.



РИС. А-15. Концепция операций по помещению в планируемом в Российской Федерации хранилище НАО (изображение: Всероссийский проектный и научно-исследовательский институт комплексной энергетической технологии).

103. В Швеции процесс лицензирования хранилища отработавшего топлива, как ожидается, продлится еще нескольких лет. В сентябре 2013 года Шведская компания по обращению с ядерным топливом и отходами (СКБ) представила для анализа последнюю программу исследований, разработок и демонстрации, касающуюся геологического захоронения в Швеции, и в настоящее время она готовит пересмотренные расчеты будущих затрат в связи с программой обращения с отработавшим топливом. Это послужит основой для принятия правительством решения в отношении взносов в Фонд обращения с ядерными отходами, из которого финансируется данная программа.

104. Швейцария в настоящее время пересматривает свое постановление в отношении фондов финансирования снятия с эксплуатации и захоронения отходов. Предложения об изменении порядка исчисления затрат в дальнейшем включают снижение – по сравнению с прежними оценками – показателя темпов инфляции (с 3% до 1,5%) и отдачи на инвестиции (с 5% до 3,5%), а также 30-процентное увеличение "надбавки за неопределенность". Федеральное правительство одобрило всеобъемлющую программу обращения с отходами "Награ", касающуюся НСАО и ВАО. В 2013 году были внесены предложения по размещению пунктов приповерхностного захоронения, и продолжаются работы в рамках этапа 2 процесса реализации секторальных планов по выбору по крайней мере двух площадок для хранилища НСАО и ВАО.

105. Украина, в сотрудничестве с ЕК, разрабатывает национальный план геологического захоронения радиоактивных отходов и к 2017 году намеревается провести предварительные оценки безопасности трех потенциальных площадок. На установке для приповерхностного захоронения НСАО в Буряковке, разработанной после аварии на Чернобыльской АЭС, в рамках финансируемого ЕК проекта реконструкции ведутся работы по наращиванию емкости хранилища на 120 000 м³ сверх нынешней емкости, составляющей приблизительно 700 000 м³.

106. В январе 2013 года Соединенное Королевство прекратило участие в процессе отбора площадки для геологического хранилища в Западном Камберленде. Правительство Соединенного Королевства по-прежнему делает акцент на разработку геологического захоронения и готово рассматривать предложения о том, как переработать и усовершенствовать процесс отбора площадки.

107. В США Управлением по охране окружающей среды шт. Нью-Мексико было выдано разрешение на эксплуатацию зоны из семи помещений на Экспериментальной установке по изоляции отходов Министерства энергетики для захоронения отходов, поступающих из

оборонного сектора, материалы которых загрязнены искусственными радиоизотопами тяжелее урана. Основываясь на рекомендациях Комиссии независимых экспертов по ядерному будущему Америки, национальная стратегия обращения с ВАО и отработавшим топливом предусматривает развитие экспериментальных и более крупных промежуточных хранилищ, обеспечивая ощутимый прогресс в деле выбора площадок и определения характеристик площадок для геологического захоронения. КЯР продолжит обработку заявки на выдачу лицензии в отношении проекта "Якка-маунтин".

Обращение с изъятыми из употребления закрытыми радиоактивными источниками

108. В ряде стран, в том числе в Гане, Малайзии, на Филиппинах и в Южной Африке, серьезно рассматриваются варианты захоронения изъятых из употребления закрытых радиоактивных источников (ИЗРИ), которые включают совместное захоронение с другими отходами в приемлемых пунктах, растущее число возможностей рециклирования и возвращения в страну происхождения или захоронение в специально пробуренных скважинах.

109. В 2013 году был осуществлен ряд успешных операций по удалению ИЗРИ из помещений пользователей и постановке их под контроль путем перемещения либо в национальные хранилища радиоактивных отходов, либо в другие учреждения с надлежащими условиями хранения. В апреле 2013 года на Филиппинах была задействована мобильная горячая камера для кондиционирования 22 высокоактивных ИЗРИ и их помещения в безопасное и надежное хранилище. В Боснии и Герцеговине были возвращены и удалены из страны на переработку пять ИЗРИ. В нескольких государствах-членах, в том числе в Камеруне, Ливане и Марокко, были начаты операции по возвращению в страну происхождения вышедших из употребления источников категории 1 и 2 французского производства. В 2013 году в Судане было завершено возвращение в страну происхождения двух таких источников.

110. Значительные усилия прилагались для того, чтобы с концепций проектирования скважинного захоронения увязать использование мобильных горячих камер, преследуя при этом цель минимизации манипуляций с источниками и исключения ненужных перевозок.

111. С тем чтобы помочь государствам-членам освоить технические навыки безопасного и надежного кондиционирования ИЗРИ категорий 3-5, были подготовлены и использовались различные технические документы и учебные модули. В Египте и Марокко были завершены операции по кондиционированию таких источников, и была обеспечена подготовка местного и регионального персонала.

112. Агентство расширило доступ для многих назначенных пользователей из отдельных стран и для таких международных учреждений, как Европол, к Международному каталогу закрытых радиоактивных источников и устройств, что облегчает идентификацию обнаруживаемых на местах ИЗРИ.

113. На Международной конференции по безопасности и сохранности радиоактивных источников: обеспечение непрерывного глобального контроля источников на всем протяжении их жизненного цикла, прошедшей в октябре 2013 года в Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты, было особо отмечено, что в сфере обращения с ИЗРИ и их захоронения остаются существенные проблемы, такие как нехватка сертифицированных транспортных упаковок, установок длительного хранения и руководств по обращению с источниками по окончании срока их службы.

А.4. Безопасность

114. В 2013 году на атомных электростанциях во всем мире продолжалась реализация мер по повышению безопасности, в том числе на основе идентификации и применения уроков, извлеченных к настоящему времени из аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Значительные успехи были сделаны в ряде ключевых областей, таких как оценки уязвимых мест в обеспечении безопасности АЭС, повышение потенциала аварийной готовности и реагирования, поддержка государств-членов, приступающих и планирующих приступить к реализации ядерно-энергетических программ, содействие созданию и поддержанию потенциала и защита населения и окружающей среды от ионизирующих излучений. Успехи, достигнутые в этих и других областях, способствуют укреплению глобальной системы ядерной безопасности.

115. Агентство продолжает усилия по обмену и распространению информации об уроках, извлеченных из аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Стержневым элементом всей деятельности по повышению безопасности, которая велась государствами-членами, Секретариатом и другими соответствующими заинтересованными сторонами, оставалось осуществление Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, принятого Генеральной конференцией после аварии на АЭС "Фукусима-дайити". В 2013 году Агентство организовало Совещание международных экспертов по вопросам снятия с эксплуатации и восстановительных мероприятий после ядерной аварии (28 января – 1 февраля 2013 года), Совещание международных экспертов по человеческому и организационному факторам в деле обеспечения ядерной безопасности в свете аварии на АЭС "Фукусима-дайити" (21-24 мая 2013 года) и Международную конференцию по эффективным системам регулирования ядерной безопасности (8-12 апреля 2013 года). В 2013 году Агентство опубликовало "Доклад МАГАТЭ о снятии с эксплуатации и восстановлении после ядерной аварии", "Доклад МАГАТЭ о повышении эффективности регулирующей деятельности в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити»" и "Доклад МАГАТЭ о готовности к ядерной или радиологической аварийной ситуации и реагировании на нее в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити»".

116. На 56-й очередной сессии Генеральной конференции Генеральный директор объявил, что Агентство подготовит доклад об аварии на АЭС «Фукусима-дайити», работа над которым будет завершена в 2014 году. В круг тем, освещаемых в докладе, будут входить, среди прочего, описание и обстоятельства аварии, оценка безопасности, аварийная готовность и реагирование, радиологические последствия, а также послеаварийное восстановление.

117. Уровень эксплуатационной безопасности АЭС по-прежнему высок, о чем свидетельствуют индикаторы безопасности, информацию о которых собирают Агентство и Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции. На рисунке А-16 показано общее число незапланированных остановов реакторов на каждые 7000 часов (приблизительно один год) работы. Обычно это используется в качестве показателя успехов в повышении уровня безопасности станции путем снижения числа нежелательных и незапланированных теплогидравлических переходных процессов и переходных процессов реактивности, требующих аварийной остановки реактора. Приведенная информация свидетельствует об устойчивом улучшении ситуации в последние годы. 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.

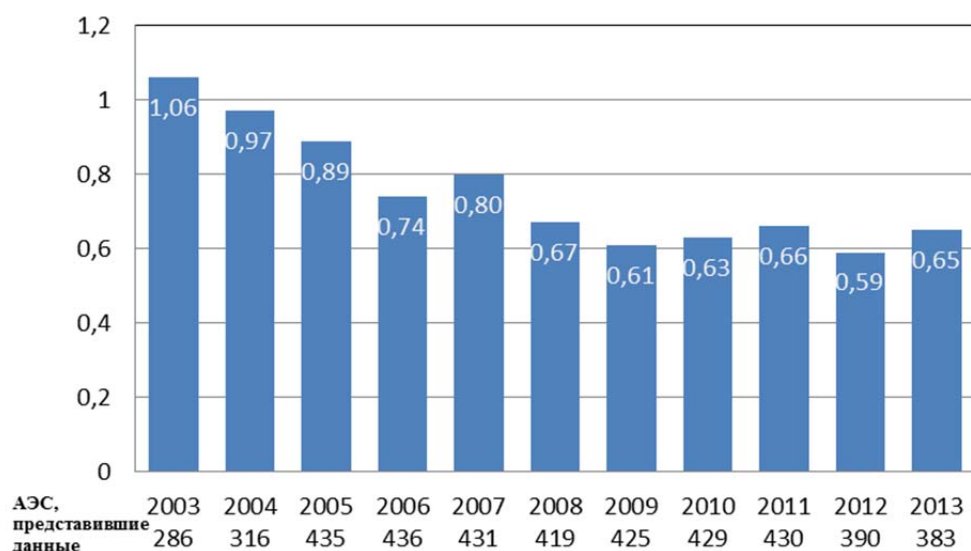


РИС. А-16. Средний коэффициент аварийных остановов: число остановов в автоматическом и в ручном режиме на каждые 7000 часов работы. (Источник: Информационная система по энергетическим реакторам МАГАТЭ <http://www.iaea.org/pris>)

118. Дополнительная информация по вопросу ядерной безопасности содержится в "Обзоре ядерной безопасности – 2014".

В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

В.1. Усовершенствованные ядерные системы

В.1.1. Водоохлаждаемые реакторы

119. В Канаде Комиссия по ядерной безопасности этой страны закончила свое третье и заключительное рассмотрение – в рамках процесса выдачи лицензии – усовершенствованной конструкции CANDU 6 (EC6) мощностью 740 МВт (эл.), в которой предусматривается ряд мер по повышению безопасности, призванных обеспечить соблюдение современных канадских и международных стандартов. Компания "Канду энерджи" завершила также разработку усовершенствованного реактора CANDU (ACR-1000), в котором в качестве мер, призванных компенсировать использование легкой воды в качестве теплоносителя первого контура, применяется весьма высокая степень стандартизации элементов и применяется слабообогатенный уран. Завершено два этапа предлицензионного рассмотрения ACR-1000. "Канду энерджи" работает также с международными партнерами над разработкой вариантов конструкции EC6 в целях использования усовершенствованного топлива, в том числе переработанного урана, MOX и ториевого топлива.

120. В Китае ведется сооружение 29 реакторов с водой под давлением (PWR). Они включают эволюционные PWR мощностью 650 МВт (эл.) и 1080 МВт (эл.), базирующиеся на существующей технологии действующих станций, а также более новые проекты AP-1000 и европейского реактора с водой под давлением (EPR). В феврале 2013 года к энергосети был подключен новый реактор, "Хунъяньхэ-1", сооруженный по проекту CPR 1000. Китай продолжает разрабатывать конструкции реакторов CAP-1400 и CAP-1700, которые представляют собой более масштабные варианты проекта AP-1000. В то же время Китай продолжает инвестировать в исследования по проекту китайского SCWR.

121. Во Франции компания «Арева», совместно с «Мицубиси хэви индастриз», Япония, продолжает поставлять на рынок реактор EPR мощностью 1600+ МВт (эл.). Она разрабатывает также PWR ATMEA1 мощностью 1100+ МВт (эл.), а в партнерстве с германской фирмой «Е.ОН» – реактор с кипящей водой (BWR) KERENA мощностью 1250+ МВт (эл.). Планируется, что поставка первого реактора ATMEA1 произойдет для площадки в Синопе, Турция.

122. В Индии строится пять реакторов, включая четыре эволюционных корпусных тяжеловодных реактора (PHWR) мощностью 700 МВт (эл.) и один водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) мощностью 1000 МВт (эл.). В октябре 2013 года к энергосети был подключен "Куданкулам-1" (ВВЭР), и ведутся предпусковые испытания второго энергоблока. В Центре атомных исследований им. Бхабхи завершается проектирование усовершенствованного тяжеловодного реактора (AHWR) мощностью 300 МВт (эл.), в котором будет использоваться НОУ и ториевое МОХ-топливо с тяжеловодным замедлителем и предусмотрены вертикальные напорные каналы и пассивные инженерно-технические средства безопасности.

123. В Японии сооружаются два усовершенствованных кипящих реактора (ABWR). В целях удовлетворения разнообразных потребностей фирма «Хитати-Дженерал электрик нуклеар энерджи» разработала варианты ABWR (ABWR-600 и ABWR-900), соответствующие классам 600 МВт (эл.) и 900 МВт (эл.). В целях удовлетворения потребностей США и европейских стран "Тосиба корпорейшн" модифицировала ABWR и разработала соответственно US-ABWR и EU-ABWR. В Японии продолжаются исследования и разработки в области инновационных проектов SCWR.

124. В Республике Корея в соответствии с планом продолжается строительство первого усовершенствованного энергетического реактора APR-1400. С КЯР США осуществляется процесс сертификации конструкции APR-1400: заявка была подана в октябре 2013 года. Параллельно с этим в 2013 году продолжалась разработка реакторов APR+ и APR-1000 мощностью 1500 МВт (эл.).

125. В США сооружается пять PWR, в том числе четыре реактора AP1000. В КЯР продолжается рассмотрение заявок на выдачу проектных свидетельств в отношении экономичного упрощенного кипящего реактора («Дженерал электрик – Хитати нуклеар энерджи»), US-EPR (AREVA NP) и US-APWR ("Мицубиси хэви индастриз").

126. В Российской Федерации продолжалось строительство семи реакторов ВВЭР, в том числе двух ВВЭР-1000 и пяти ВВЭР-1200 (АЭС-2006). Продолжалось также осуществление планов разработки реактора ВВЭР-1200А, а также ВВЭР-600, ВВЭР-600 (АЭС-2006/2) и ВВЭР-1800 на основе нынешнего проекта ВВЭР-1200. Кроме того, Российская Федерация продолжала работы по проекту инновационного реактора SCWR – ВВЭР-СК – и продолжает строительство плавучего реактора малой мощности типа КЛТ-40С для специальных применений.

В.1.2. Системы на быстрых нейтронах

127. Уже давно признается важная роль быстрых реакторов и сопутствующих топливных циклов в обеспечении долгосрочной устойчивости ядерной энергетики. Достижимый положительный коэффициент воспроизводства и многократное рециклирование делящихся материалов, полученных из отработавшего топлива быстрых реакторов делает возможным полное использование энергетического потенциала урана и тория. Эта технология гарантирует энергоснабжение на протяжении тысяч лет и значительно повышает устойчивость ядерной энергетики, сокращая объемы высокоактивных долгоживущих ядерных отходов.

128. Вместе с тем, успешное крупномасштабное внедрение быстрых реакторов может быть достигнуто, только если благодаря исследованиям и разработкам технологии удастся создать условия, которые обеспечат использование потенциала систем на быстрых нейтронах и связанных с ними замкнутых топливных циклов в полном объеме, и если надлежащим образом будут выполняться критерии экономической конкурентоспособности, строгих требований безопасности, устойчивого развития и общественной приемлемости.

129. Масштабные программы разработки и внедрения быстрых реакторов осуществляются во всем мире с 1960 года, и, таким образом, знания в области быстрых реакторов и технологий сопутствующих топливных циклов достигли высокого уровня зрелости. Наиболее зрелая технология быстрых реакторов – это быстрый реактор с натриевым теплоносителем (SFR). В этой сфере имеется опыт эксплуатации в объеме 350 реакторо-лет, накопленный в процессе проектирования, сооружения и эксплуатации экспериментальных, прототипных, демонстрационных и промышленных SFR, работающих во многих странах, в том числе в Китае, Франции, Германии, Индии, Японии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве и США. Обращают на себя внимание общие показатели работы SFR, и здесь налицо такие важные достижения, как демонстрация осуществимости воспроизводства нового топлива на основе топливного цикла быстрых реакторов с тепловым КПД, достигающим значения 43-45%, то есть самого высокого в ядерной сфере. Накоплен также незаменимый опыт снятия с эксплуатации нескольких таких реакторов.

130. В настоящее время эксплуатируются четыре SFR: в Китае – китайский экспериментальный быстрый реактор, в Индии – испытательный быстрый реактор-размножитель, и в Российской Федерации – реакторы БОР-60 и БН-600. Два SFR в Японии – Joyo и Monju – находятся в режиме временного останова. Ожидается, что в 2014 году будет завершено сооружение двух SFR: прототипный быстрый реактор-размножитель мощностью 500 МВт (эл.) в Индии (рис. В-1) и промышленный БН-800 мощностью 880 МВт (эл.) в Российской Федерации.



РИС. В-1. В Калпаккаме, Индия, на продвинутой стадии сооружения находится прототипный быстрый реактор-размножитель (фото: Центр атомных исследований им. Индиры Ганди).

131. В Российской Федерации на основе эксплуатации семи ядерных подводных лодок в рамках проекта 705/705K, оснащенных реакторами со свинцово-висмутовым теплоносителем мощностью 155 МВт (тепл.), получен некоторый опыт в области применения тяжелых жидких металлов, таких как свинец или эвтектический сплав свинца и висмута.

132. В настоящее время на национальном и международном уровнях разрабатываются четыре различных типа быстрых реакторов (таблица В-1), и цель этих разработок – соблюдение более строгих требований безопасности, устойчивости, экономики, физической защиты и устойчивости с точки зрения распространения. Это быстрый реактор с натриевым теплоносителем (SFR), быстрый реактор со свинцовым теплоносителем (LFR), газоохлаждаемый быстрый реактор (GFR) и быстрый реактор на солевых расплавах (MSFR).

Таблица В.1 Конструкции быстрых реакторов

Конструкция	Тип	Мощность	Проектировщики
CFR-600	SFR, реактор бассейнового типа	600 МВт (эл.)	Китайский институт атомной энергии, Китай
Astrid	SFR, прототипный реактор бассейнового типа	600 МВт (эл.)	Комиссариат по атомной энергии и альтернативным источникам энергии, ЭДФ, "Арева НПП", "Альстом", "Буиг", "Комекс нуклеэр", "Тосиба", "Джекобс", "Роллс-Ройс" и "Астриум-Юроп", Франция
FBR-1 и 2	SFR, реактор бассейнового типа	500 МВт (эл.)	Центр атомных исследований им. Индиры Ганди, Индия
4S	SFR, реактор малой мощности	10 МВт (эл.)	"Тосибо", Япония
JSFR	SFR, петельный реактор	750 МВт (эл.) (средней мощности), 1500 МВт (эл.) (большой мощности)	Японское агентство по атомной энергии, Япония
PGSFR	SFR, прототипный реактор бассейнового типа	150 МВт (эл.)	Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии, Республика Корея
БН-1200	SFR, реактор бассейнового типа	1220 МВт (эл.)	Опытное конструкторское бюро машиностроения, Российская Федерация
МБИР	SFR, исследовательский реактор бассейнового типа	100 МВт (эл.)	ОАО "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежале", Российская Федерация
PRISM	SFR, реактор бассейнового типа	311 МВт (эл.)	"Дженерал электрик – Хитати", США
TWR-P	SFR, реактор с бегущей волной	600 МВт (эл.)	"Терра пауэр", США
MYRRHA	LFR, реактор бассейнового типа со свинцово-висмутовым теплоносителем	-	Бельгийский центр ядерных исследований, Бельгия
CLEAR-I	LFR, реактор бассейнового типа со свинцово-висмутовым теплоносителем	-	Институт безопасных технологий ядерной энергетики, Китай

Конструкция	Тип	Мощность	Проектировщики
ALFRED	LFR, демонстрационный реактор бассейнового типа со свинцовым теплоносителем	125 МВт (эл.)	"Ансальдо нуклеаре", Европа/Италия
ELFR	LFR, реактор бассейнового типа со свинцовым теплоносителем	630 МВт (эл.)	"Ансальдо нуклеаре", Европа/Италия
PEACER	LFR, демонстрационный реактор бассейнового типа со свинцово-висмутовым теплоносителем	300 МВт (эл.)	Сеульский национальный университет, Республика Корея
БРЕСТ-ОД-300	LFR, реактор бассейнового типа со свинцовым теплоносителем	300 МВт (эл.)	ОАО "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежале", Российская Федерация
СВБР-100	LFR, модульный реактор со свинцово-висмутовым теплоносителем малой мощности	101 МВт (эл.)	ОАО "АКМЭ-инжиниринг", Российская Федерация
ELECTRA	LFR, учебный реактор со свинцовым теплоносителем	-	Королевский технологический институт, Швеция
G4M	LFR, модульный реактор со свинцово-висмутовым теплоносителем малой мощности	25 МВт (эл.)	"Джен4 энерджи инк.", США
ALLEGRO	GFR, экспериментальный реактор	-	Европейское сообщество по атомной энергии, Европа
EM ²	GFR, высокотемпературный реактор	240 МВт (эл.)	"Дженерал атомикс", США
MSFR	MSFR	1500 МВт (эл.)	Национальный центр научных исследований, Франция

В.1.3. Газоохлаждаемые реакторы

133. В Соединенном Королевстве газоохлаждаемые реакторы эксплуатируются уже в течение многих лет. В этой стране продолжают работать один реактор "Magnox" и 14 усовершенствованных газоохлаждаемых реакторов, и они по-прежнему занимают видное место в сфере высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (HTGR) и, наряду с многочисленными техническими университетами, оказывают операторам помощь в решении проблем HTGR. В Соединенном Королевстве основные отличия HTGR от газоохлаждаемых реакторов на CO₂ заключаются в использовании топлива на основе микрочастиц с покрытием, более высоких температурах газа на выходе ($\geq 750^{\circ}\text{C}$) и использовании в качестве теплоносителя гелия. Во многих государства-членах, в отличие от сокращения масштабов разработок в сфере HTGR в Соединенном Королевстве, разработка таких реакторов продолжается.

134. В Китае в декабре 2012 года, после выполнения требований повторной оценки безопасности в свете аварии на АЭС "Фукусима-дайти", началось сооружение высокотемпературного модульного реактора с шаровыми твэлами (HTR-PM) (рис. В-2). Эта промышленная демонстрационная энергетическая установка мощностью 200 МВт (эл.) состоит из двух 250 МВт (тепл.) реакторных блоков, которые, как ожидается, будут введены в эксплуатацию к концу 2017 года.



РИС. В-2. Стройплощадка HTR-PM в заливе Шидао, Вэйхай, Китай (фото: Институт ядерных и новых энергетических технологий).

135. В Китае используется устойчивая технология изготовления топлива, и шаровые топливные элементы проходят международные испытания на применение в нормальных и аварийных условиях. В 2013 году в Баотоу началось строительство нового завода по изготовлению топлива, и после завершения работ на 10-мегаваттном гелиевом испытательном контуре будут проводиться полномасштабные испытания основных компонентов. В 2013 году был модернизирован исследовательский реактор HTR-10, и он будет использоваться для получения дальнейшего опыта эксплуатации, сбора данных и испытаний.

136. Национальное агентство по ядерной энергии (БАТАН) в Индонезии изучает концептуальный проект HTGR, приемлемого для развертывания за пределами островов Ява, Мадуро и Бали. Деятельность сосредоточена на изучении спроса, экономических факторов, выработки технологического тепла и изготовлении топлива.

137. В Японии регулирующие органы проводят рассмотрение высокотемпературного реактора для технических испытаний (HTTR) мощностью 30 МВт (тепл.). Запланированы дальнейшие испытания для демонстрации безопасности, предусматривающие потерю принудительного охлаждения основного контура плюс потерю охлаждения корпуса, моделируя обесточивание станции. В ответ на аварию на АЭС "Фукусима-дайти" Японское агентство по атомной энергии начало проектировать естественно безопасный HTGR, полностью базирующийся на внутренне присущих свойствах безопасности и HTGR с экологически чистым сжиганием топлива, позволяющим обеспечить сжигание избыточного плутония в Японии. Продолжаются усилия по разработке производства водорода.

138. В Республике Корея продолжают инвестиции в создание испытательных установок для HTGR в целях производства водорода. В сотрудничестве с промышленными потребителями тепла планируются также применения технологического тепла. Успешно ведется разработка топлива на основе микросфер с покрытием, и на высокопоточном усовершенствованном реакторе для нейтронных применений будет проводиться облучение в тестовом режиме.

139. Продолжалась работа в рамках совместного проекта России и США по применению газотурбинного модульного гелиевого реактора (GT-MHR) в целях утилизации оружейного плутония с его использованием для производства электроэнергии и выработки технологического тепла. Основное внимание направлено на ключевые технологии для этого реактора, такие как топливо, графит, высокотемпературные материалы, газотурбинные системы преобразования энергии и другие реакторные системы.

140. На Украине принятое правительством решение создает условия для возможного внедрения HTGR, и таким образом возрождаются сопутствующие исследования в области промышленного оборудования и технологий.

141. В США проект "АЭС следующего поколения" сосредоточен на аттестации трехструктурно-изотропического топлива, аттестации графита и высокотемпературных материалов, на испытательных установках в целях иллюстрации пассивных характеристик безопасности и на разработке основ лицензирования. Топливо, произведенное в последний период, демонстрировало превосходные показатели во время облучения при высоких рабочих температурах (1250°C) и очень высокую степень выгорания (19% от делений на начальное количество атомов тяжелых металлов), а также при аварийных температурах до 1800°C, демонстрируя более высокую безопасность и больший запас надежности в реакторных проектах и характеристиках топлива. Внимание КЯР США было сосредоточено на решении вопросов лицензирования, в частности, выбора базисных событий, определения параметров источника выброса, функциональных характеристик защитной оболочки и аварийного планирования.

142. Агентство осуществляет два проекта координированных исследований, касающихся HTGR: по улучшению понимания явления ползучести облученного ядерного графита и по анализу неопределенностей в реакторной физике HTGR, теплогидравлике и обеднении.

143. Осуществляемый ЕК проект НИОКР в области усовершенствованных высокотемпературных реакторов для комбинированного производства тепла и электрической энергии нацелен на развитие европейской технологии HTGR в поддержку ядерной когенерации с уделением особого внимания аспектам безопасности первого контура, сочлененного с каким-либо промышленным применением. В Польше был одобрен проект, получающий поддержку правительства, цель которого – изучение возможностей создания системы HTGR. Деятельность в Германии ограничена отдельными исследованиями в области безопасности и участием в программах ЕК по HTGR. В Нидерландах поддержку программ ЕК оказывают Группа по ядерным исследованиям и консультациям в Петтене и Технологический университет Дельфта.

144. В АЯЭ/ОЭСР в целях изучения эксплуатационных и аварийных условий, которые включают сценарии потери теплоносителя и попадания влаги, на призматической конструкции активной зоны HTGR проводится сравнительная оценка переходных процессов на основе сочленения кода, моделирующего поведение нейтронов, с кодом, моделирующим поведение термофлюидов.

В.1.4. Реакторы малой и средней мощности

145. Реакторы малой и средней мощности (PMCM) являются потенциальным источником производства электроэнергии для государств-членов, в которых имеются относительно изолированные общины или иным образом ограниченные энергосети. PMCM могут также послужить эффективной заменой устаревших, стареющих источников энергии или энергоисточников с высокими уровнями выбросов двуокиси углерода без какой-либо существенной модификации существующей инфраструктуры. Государства-члены отмечают, что в рамках различных проектов в некоторых государствах-членах было успешно продемонстрировано опреснение морской воды с использованием ядерной энергии и оно является в целом рентабельным, при этом признавая, что экономические характеристики при внедрении будут зависеть от факторов, связанных с конкретным объектом. Кроме того, PMCM рассматриваются как потенциально приемлемый вариант технологии для комбинированного производства тепла и электроэнергии.

146. Согласно принятой Агентством классификации, реакторами малой мощности являются реакторы с электрической мощностью менее 300 МВт (эл.), а реакторы средней мощности – это реакторы, имеющие эквивалентную электрическую мощность в диапазоне от 300 до 700 МВт (эл.). В настоящее время четыре усовершенствованные PMCM сооружаются в четырех странах: Аргентине, Индии, Китае и Российской Федерации. PMCM разрабатываются для всех основных линий реакторов, включая LWR, тяжеловодные реакторы (HWR), HTGR и быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем (LMFR). Наблюдается тенденция в направлении разработки усовершенствованных ядерных реакторов малой мощности, которые будут применяться как многомодульные энергетические установки. В некоторых водоохлаждаемых PMCM в отношении первого контура принят интегральный подход, при котором компоненты ядерной системы подачи пара установлены в общем корпусе вместе с активной зоной реактора. В соответствующих частях настоящего документа сообщается о ходе работ в сфере разработки и внедрения HTGR и быстрых реакторов с тяжелыми жидкометаллическим теплоносителем малой мощности. Несколько стран продвигаются в разработке и применении передвижных АЭС, в том числе плавучих PMCM и PMCM морского базирования.

147. Сегодня на разных стадиях НИОКР находятся примерно 45 инновационных концепций PMCM. Ниже приводится описание некоторых конструкций водоохлаждаемых PMCM, приступить к развертыванию которых планируется в ближайшее время.

148. В Аргентине начались работы, связанные с сооружением реактора CAREM – маломощного LWR интегрального типа с водой под давлением, в котором все основные компоненты находятся внутри реакторного корпуса и электрическая мощность которого составляет 150-300 МВт (эл.). Уже готов котлован под прототипную установку CAREM-25 мощностью 27 МВт (эл.). Правительство выдало лицензию на строительство CAREM-25 в октябре 2013 года. Первая заливка бетона намечена на первый квартал 2014 года.

149. Китай разрабатывает PWR мощностью 300 МВт (эл.) и 600 МВт (эл.). Несколько энергоблоков уже построены, и три энергоблока CNP-600 находятся в стадии строительства. В Пакистане также построены два блока CNP-300, импортированные из Китая, и ведутся работы по сооружению еще двух блоков CNP-300. Кроме того, НЯКК разрабатывает ACP-100 мощностью 100 МВт (эл.) – PMCM, имеющий конструкцию интегрального PWR с горизонтальными насосами, размещенными внутри корпуса реактора. Китай планирует построить два блока ACP-100 в провинции Фуцзянь для производства электроэнергии и опреснения морской воды. Шанхайский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт ядерной техники разрабатывает CAP-150 – усовершенствованный

реактор малой мощности, в котором используются пассивные средства безопасности и мощность которого составляет 150 МВт (эл.), и плавучий РМСМ – CAP-FNPP мощностью 200 МВт (тепл.).

150. Во Франции компания ДКНС проектирует "Flexblue" – маломощный передвижной реактор модульной конструкции 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 в море, которое является бесконечным и постоянно доступным поглотителем тепла.

151. В Индии эксплуатируется или строится много HWR мощностью 220 МВт (эл.), 540 МВт (эл.) и 700 МВт (эл.). В Центре атомных исследований им. Бхабхи на стадии детального проектирования находится разработка АНWR мощностью 304 МВт (эл.).

152. В Италии, в Миланском политехническом университете, продолжается разработка конструкции международного реактора инновационной и надежной конструкции (IRIS), которая ранее велась силами международного консорциума во главе с корпорацией "Вестингауз электрик". IRIS – это LWR с модульной, интегральной конфигурацией первого контура, средняя электрическая мощность которого – 335 МВт (эл.). Согласно своей концепции этот реактор должен удовлетворять требования повышенной безопасности, более высоких экономических показателей, устойчивости с точки зрения распространения и минимизации отходов.

153. В Японии, под названием интегрированный модульный водоохлаждаемый реактор (IMR), разрабатывается LWR средней – 350 МВт (эл.) – мощности с первым контуром интегрального типа. В рамках работы по получению лицензии проводятся контрольные испытания компонентов и методов проектирования, соответствующие НИОКР и подготовка базового проекта. IMR проектируется как для производства электроэнергии, так и для когенерации.

154. В Республике Корея разработана конструкция системно-интегрированного модульного усовершенствованного реактора (SMART) с тепловой мощностью 330 МВт (тепл.). SMART предназначен для комбинированного применения в целях опреснения морской воды и производства электроэнергии. Было начато осуществление проекта по проектированию пилотной установки для всеобъемлющей проверки показателей работы. В июле 2012 года в отношении SMART мощностью 100 МВт (эл.) Комиссией по ядерной безопасности и физической ядерной безопасности было выдано утверждение стандартной конструкции, и теперь ведется подготовка к сооружению уникальной установки.

155. В Российской Федерации завершается строительство двух АЭС, размещаемых на барже, с реакторами 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 LWR интегрального типа с естественной циркуляцией теплоносителя первого контура. Установка РИТМ-200 мощностью 50 МВт (эл.), которая в настоящее время находится на стадии детального проектирования, – это реактор интегрального типа с принудительной циркуляцией и предназначена для атомных ледоколов.

156. В США разрабатываются четыре интегральных PWR. Реактор "B&W mPower" – это вдвоенная установка, состоящая из модулей мощностью по 180 МВт (эл.). "НьюСкейл пауэр" предусматривает строительство АЭС, состоящей из двенадцати модулей по 45 МВт (эл.). SMR компании "Вестингауз" – это концептуальный проект реактора мощностью 225 МВт (эл.), в котором предусмотрены пассивные системы безопасности и компоненты, прошедшие апробирование на AP1000. SMR-160 компании «Холтек» – это реактор мощностью 160 МВт (эл.) с естественной конвекцией, что избавляет от необходимости использования циркуляционных насосов, а также зависимости от внешних источников энергоснабжения. Ожидается, что заявки на проведение сертификации проектов этих четырех концепций будут поданы КЯР США в 2014-2016 годах.

157. В качестве дополнения к своей Информационной системе по усовершенствованным реакторам (АРИС) Агентство в 2012 году опубликовало брошюру "Status of Small and Medium Sized Reactor Designs" («Положение дел с проектами реакторов малой и средней мощности»)¹⁵. В таблице В.2 приводится перечень проектов водоохлаждаемых РМСМ, сооружение которых возможно в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Таблица В.2 Проекты водоохлаждаемых РМСМ, сооружение которых возможно в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Конструкция	Тип	Мощность [МВт (эл.)]	Проектировщики	Положение дел
CAREM-25	Интегральный PWR, естественная циркуляция	27	Национальная комиссия по атомной энергии, Аргентина	В процессе сооружения один прототипный блок
CNP-300	2-контурный PWR	315	НЯКК, Китай	В эксплуатации три блока, два в процессе сооружения
ACP-100	Интегральный PWR	100	Национальная ядерная корпорация Китая (НЯКК), Китай	Детальное проектирование
CAP-150	Интегральный PWR	150	Шанхайский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт ядерной техники, Китай	Концептуальное проектирование
"Flexblue"	Модульный реактор малой мощности, для размещения на морском дне	160	ДКНС, Франция	Концептуальное проектирование
AHWR300-LEU	Реакторная труба высокого давления	304	Центр атомных исследований им. Бхабхи, Индия	Детальное проектирование
IMR	Интегральный модульный PWR, естественная циркуляция	335	"Мицубиси хэви индастриз", Япония	Концептуальное проектирование
SMART	Интегральный PWR	100	Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии, Республика Корея	Июль 2012 года – утверждение стандартной конструкции

¹⁵ Размещена по адресу <http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/SMR/files/smr-status-sep-2012.pdf>

Конструкция	Тип	Мощность [МВт (эл.)]	Проектировщики	Положение дел
АБВ-6М	Интегральный PWR, естественная циркуляция	8,6	Опытное конструкторское бюро машиностроения (ОКБМ), Российская Федерация	Детальное проектирование
ВБЭР-300	Интегральный PWR	325	ОКБМ, Российская Федерация	Детальное проектирование
РИТМ-200	Интегральный PWR	50	ОКБМ, Российская Федерация	Детальное проектирование
КЛТ-40С	Плавучая АЭС, размещаемая на барже	70	ОКБМ, Российская Федерация	2 блока на последнем этапе сооружения
ВВЭР-300	Интегральный PWR	300	ОКБ "Гидропресс", Российская Федерация	Детальное проектирование
ВК-300	BWR	250	ОАО "Научно- исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежала" (ОАО "НИКИЭТ"), Российская Федерация	Концептуальное проектирование
УНИТЕРМ	Интегральный PWR очень малой мощности с естественной циркуляцией	2,5	ОАО "НИКИЭТ", Российская Федерация	Концептуальное проектирование
Шельф	Модульный реактор малой мощности для размещения на морском дне	6	ОАО "НИКИЭТ", Российская Федерация	Концептуальное проектирование
IRIS	Интегральный PWR	335	Международный консорциум "IRIS", Италия	Концептуальное проектирование
B&W mPower	Интегральный PWR (установка из двух модулей по 180 МВт (эл.) каждый)	360	"Бэбкок энд Уилкокс" – "Дженерейшн эмПауэр", США	Детальное проектирование
NuScale	Интегральный PWR с естественной циркуляцией (12 модулей по 45 МВт (эл.) каждый)	45	"НьюСкейл пауэр", США	Детальное проектирование
SMR компании "Вестингауз"	Интегральный PWR	225	Корпорация "Вестингауз электрик", США	Детальное проектирование
SMR-160 компании "Холтек"	Интегральный PWR	160	Компания "Холтек", США	Детальное проектирование

В.1.5. Международные инициативы в области инновационных ядерных систем

158. Ввиду роста обеспокоенности по поводу доступности энергетических ресурсов, изменения климата и энергетической безопасности, а также в связи с тем, что ядерная энергия способна внести значительный вклад в удовлетворение растущего глобального спроса на энергию, в последние десятилетия началась реализация ряда международных инициатив в области инновационных ядерных систем.

159. В частности, на пороге нового столетия ряд государств - членов Агентства признали необходимость принятия мер, обеспечивающих устойчивый характер развития в области ядерной энергии. Учитывая это, в 2000 году в соответствии с резолюцией Генеральной конференции Агентством было начато осуществление Международного проекта по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО), задача которого - оказывать помощь в обеспечении устойчивого вклада ядерной энергии в удовлетворение глобальных энергетических потребностей в XXI веке. Основная цель заключается в том, чтобы наладить контакт между владельцами и пользователями технологий и организовать совместное рассмотрение ими международных и национальных мер, необходимых для внедрения желаемых инноваций в области ядерных реакторов и топливных циклов. Группа ИНПРО финансируется в основном участниками ИНПРО, т.е. 38 государствами-членами и ЕК. В 2013 году Кения стала 39-м участником ИНПРО.

160. ИНПРО пересматривает свою методологию, в которой используется комплексный подход к оценке инновационных ядерных систем в семи областях: экономики, инфраструктуры, обращения с отходами, устойчивости с точки зрения распространения, физической защиты, охраны окружающей среды и безопасности. На основе этой методологии Беларусь произвела оценку ядерно-энергетических систем (ОЯЭС); соответствующий доклад был опубликован Агентством в качестве справочного документа для государств-членов. Сейчас ОЯЭС проводятся в Индонезии, Румынии и на Украине.

161. Международный форум "Поколение IV" (МФП) - это международная инициатива в области сотрудничества, предпринятая с целью проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, необходимых для определения технико-экономического и функционального потенциала ядерно-энергетических систем следующего поколения. Как указано в издании "Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems" ("Дорожная карта технологий для ядерно-энергетических систем поколения IV")¹⁶, опубликованном в 2002 году, в рамках МФП, в состав которого входят 13 участников, рассматриваются шесть ядерно-энергетических систем: GFR, сверхвысокотемпературные реакторы (VHTR), SCWR, SFR, LFR и реакторы на солевых расплавах (MSR).

162. Участники МФП, заинтересованные в проведении совместных НИОКР по одной или нескольким из отобранных систем, подписали соответствующие договоренности по системам. В рамках каждой договоренности по системам было учреждено ограниченное число совместных проектов НИОКР, для которых были четко прописаны результаты, рубежи и графики работы и четко определена договорная база.

163. МФП и ИНПРО ежегодно организуют совещания по вопросам взаимодействия, на которых рассматриваются конкретные методологии оценки в областях экономики, устойчивости с точки зрения распространения и физической защиты, риска и безопасности, а также усовершенствованного моделирования.

¹⁶ С ним можно ознакомиться по адресу <http://www.gen-4.org/PDFs/GenIVRoadmap.pdf>

164. Другим важным направлением деятельности в области SFR, открытым в 2011 году МФП в сотрудничестве с Агентством, является разработка проектных критериев безопасности (ПКБ) с целью согласования требований безопасности различных проектных организаций, представленных в МФП, а также количественной оценки высокого уровня безопасности, требуемого от систем SFR 4-го поколения. В 2013 году МФП выпустил доклад об этапе 1 разработки ПКБ, который в настоящее время рассматривается в МАГАТЭ, АЯЭ/ОЭСР, Межнациональной программе оценки проектов (МПОП) и некоторых регулирующих органах государств – членов МФП. В докладе об этапе 2 ПКБ будут количественно определены проектные критерии и рассмотрена разработка подробных руководящих принципов применения общих критериев.

165. Сфера работы МФП охватывает этапы разработки технико-экономических обоснований и определения функциональных характеристик НИОКР, но не распространяется на этап их демонстрации. Поэтому прототипы не входят в число прерогатив Форума.

166. В 2007 году в Европейском союзе была официально создана Устойчивая платформа ядерных энерготехнологий (УПЯЭТ), задача которой – содействовать исследованиям, разработке и демонстрации технологий ядерного деления, необходимых для выполнения Европейского стратегического плана по энергетическим технологиям (СЭТ-Плана).

167. Сегодня УПЯЭТ объединяет более 100 европейских партнеров, представляющих промышленность, исследовательские организации, научные круги, организации технической безопасности, неправительственные организации, а также национальных представителей. Ее деятельность направлена на поддержание безопасности и конкурентоспособности в области технологии ядерного деления, выработку к 2020 году решений по обращению с отходами в долгосрочной перспективе, завершение демонстрации нового поколения ядерных реакторов, обладающих повышенной устойчивостью, и расширение применений ядерного деления за пределами отрасли производства электроэнергии к 2050 году.

168. Целью Европейской промышленной инициативы по созданию ядерной энергетики с устойчивой ресурсной базой (ESNII), учрежденной ЕС в 2010 году, является удовлетворение потребности европейских стран в демонстрации технологий четвертого поколения реакторов на быстрых нейтронах, а также вспомогательных исследовательских инфраструктур, топливных установок и НИОКР. Ее работа заключается в развитии двух параллельных технологий; базовым решением станет технология реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, причем примерно к 2020 году во Франции планируется строительство прототипа, который станет серьезным подспорьем в освоении этой технологии; в качестве альтернативной технологии рассматриваются либо реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем, либо реактор на быстрых нейтронах с газовым теплоносителем, при этом экспериментальный реактор для демонстрации данной технологии предполагается построить в другой европейской стране, желающей разместить его у себя.

В.1.6. Использование когенерации для неэлектрических применений ядерной энергии

169. Интеграция ядерных реакторов и промышленных применений, то есть ядерная когенерация, имеет несколько практических преимуществ, таких как: экономия за счет повторного использования сбросного тепла АЭС, увеличение общего термического КПД станции, увеличение гибкости энергосети и сокращение выбросов парниковых газов и воздействия на окружающую среду. Вообще говоря, для неэлектрических применений могут использоваться все ядерные реакторы. Возможны различные варианты процесса когенерации, определяемые технологией, типом реактора, типом топлива и уровнем температуры. Часть

тепла, обычно сбрасываемого в окружающую среду, может использоваться для опреснения и централизованного теплоснабжения. Соответственно, общий коэффициент использования тепла может быть повышен с нынешних примерно 33% (у существующих LWR) до 70-80%. Реакторы LWR, SCWR и LMFR потенциально пригодны для когенерации с выработкой низкотемпературного технологического тепла, например, для систем централизованного теплоснабжения и опреснения. Высокотемпературные реакторы, т.е. HTGR, GFR и MSR, в большей степени пригодны для когенерации с выработкой высокотемпературного технологического тепла и производства водорода. Для всех реакторов был признан приемлемым подход на основе непрямого цикла (см. рис. В-3).

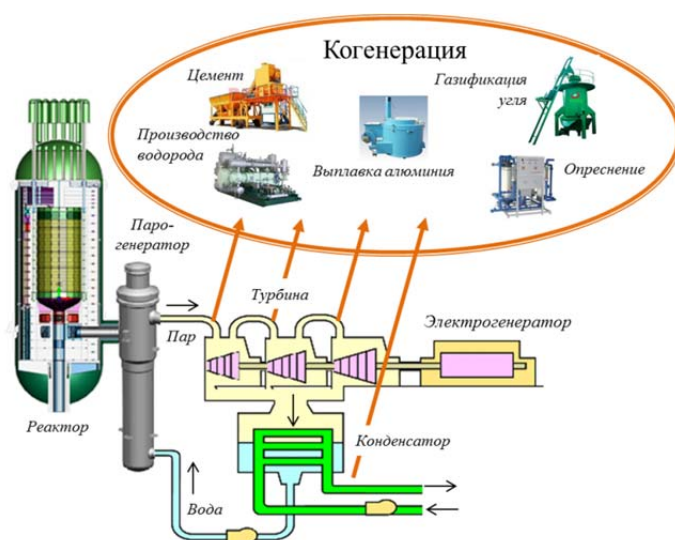


РИС. В-3. Схематическое представление процесса когенерации.

170. Когенерация представляет собой идеальный вариант для множества энергоемких применений, таких как синтез топлива (в том числе производство водорода), газификация угля и добыча нефти. Применение ядерной энергии может стать одним из перспективных вариантов реализации рыночного потенциала возможностей когенерации. Что касается низкотемпературного диапазона, то наиболее очевидными областями применения являются централизованное теплоснабжение (80-150°C) и опреснение морской воды (65-120°C). В диапазоне средних температур существует широкий ряд видов применения тепла, например, для очистки нефти, переработки горючих сланцев и битуминозного песка. Высокотемпературное тепло, как правило, востребовано при производстве нефтепродуктов, стали и водорода.

171. За последние 30 лет техническая и коммерческая жизнеспособность LWR была продемонстрирована на многих действующих станциях в различных странах. В Болгарии, Венгрии, Российской Федерации, Словакии, Швейцарии и на Украине, где централизованное теплоснабжение обычно осуществляется станциями, работающими на органическом топливе, также имеются системы централизованного теплоснабжения, сопряженные с атомными электростанциями. Эти станции обеспечивают тепловую мощность в диапазоне от 20 МВт (тепл.) до 250 МВт (тепл.), что обычно составляет небольшую часть от общей тепловой мощности реактора. Пар, отводимый от турбины, нагревает воду или пар для централизованного теплоснабжения до 130–150°C.

172. Опреснение на основе когенерации осуществляется на станциях с реакторами LWR в Японии и США, а также с быстрым реактором с натриевым теплоносителем БН-350 в Казахстане. В Японии все АЭС расположены на побережье моря. На нескольких АЭС, эксплуатируемых компаниями "Кансай электрик пауэр", "Кюсю электрик пауэр" и "Сикоку

электрик пауэр", имеются системы опреснения морской воды с использованием тепла и/или электричества от АЭС для подпитки парогенераторов питательной водой и снабжения площадки питьевой водой. Для опреснения используются процессы многоступенчатой пленочной дистилляции, многоступенчатой дистилляции (МСД) и обратного осмоса (ОО). Опреснительная мощность отдельной установки варьируется от 1000 до 3000 м³/сут.

173. Применение когенерации для промышленных целей было продемонстрировано в Германии на АЭС "Штаде", где реактор PWR мощностью 1892 МВт (тепл.) и 640 МВт (эл.) обеспечивал подачу пара на солеочистительный завод, расположенный на расстоянии 1,5 км. С 1983 года по 2003 год был получен положительный опыт эксплуатации, при этом подача пара с АЭС характеризовалась высокой временной доступностью. Еще одним примером может быть реактор PWR мощностью 970 МВт (эл.) на АЭС "Гёсген" в Швейцарии, откуда с 1979 года на близлежащую фабрику по производству картона подается технологический пар. Технологический пар образуется в третьем паровом контуре из рабочего пара, отводимого из PWR. Затем он подается по трубопроводу на фабрику, находящуюся на расстоянии 1,75 км от АЭС. Швейцарская АЭС "Бецнау", оснащенная двумя реакторами PWR мощностью по 365 МВт (эл.), также обеспечивает централизованное теплоснабжение.

174. Кроме того, была продемонстрирована возможность когенерации с использованием реакторов CANDU. Например, на канадской АЭС "Брус" на протяжении двух десятилетий успешно вырабатывается тепло, используемое в производстве тяжелой воды, при одновременной выработке электроэнергии. В 2008 году к Мадрасской АЭС в Калпаккаме, Индия, была подключена опреснительная установка производительностью 6300 м³/сут. В гибридном процессе опреснения объединены МСД и ОО. Полученная водяная смесь направляется для использования в промышленности/муниципальном хозяйстве. Использование одного МВт (эл.) тепловой-электроэнергии на основе МСД позволяет производить в сутки 1500 м³ воды и на основе ОО – 1800 м³. Таким образом, после переоснащения будет достигнут уровень производства 6300 м³ в сутки при снижении электрической мощности АЭС приблизительно на 4 МВт. Новейшая ядерная когенерационная станция в мире была введена в эксплуатацию в 2010 году в Пакистане. На этот раз в рамках модернизации блок МПД был интегрирован с уже имеющимся на АЭС "Карачи" реактором CANDU-HWR мощностью 125 МВт (эл.). В рабочем режиме опреснительная установка производит из морской воды 1600 м³ пресной воды в сутки. На той же площадке эксплуатируется установка на основе ОО мощностью 454 м³ в сутки, производящая воду для собственных нужд станции.

175. Все высокотемпературные реакторы пригодны для когенерации. Как видно из таблицы В-3, газоохлаждаемые реакторы, такие как реактор с шаровыми твэлами (PBR), модульный реактор с призматическими твэлами (PMR) и GFR могут вырабатывать тепло для промышленных процессов и производства водорода. Чтобы воспользоваться их преимуществами, ЕС начал реализацию Инициативы в области промышленной когенерации (NC2I). Кроме того, в качестве основного кандидата для широкомасштабного производства водорода рассматривается система с VHTR. Комбинированное производство тепла и электроэнергии делает VHTR привлекательным источником тепла для крупных промышленных комплексов. VHTR могут быть сопряжены с нефтеочистительными и перерабатывающими заводами в целях замены других источников больших объемов технологического тепла разных температур, в том числе для производства водорода в целях повышения качества тяжелой и высокосернистой сырой нефти.

Таблица В-3. Возможности применения наиболее перспективных газоохлаждаемых реакторных систем 4-го поколения при производстве энергии.

Реактор	PBR	PMR	GFR	VHTR
Тепловая мощность (МВт (тепл.))	250	600	600	600
Электрическая мощность (МВт (эл.))	110	286	288	300-360
Температура на выходе (°C)	850	850	850	950-1300
Давление в первом контуре (МПа)	7,75	7,07	7,0	6,8-8,0
Производство водорода	да	да	да	да
Опреснение воды	да	да	да	да
Высокотемпературное технологическое тепло (нефтеперерабатывающие заводы, десульфуризация тяжелой нефти)	да	да	да	да
Централизованное теплоснабжение	да	да	да	да

176. Дополнительные преимущества принесет строительство когенерационных установок рядом с другими объектами, поскольку в этом случае возможно совместное использование многих коммунальных объектов и инфраструктур, что, в конечном итоге, позволит сократить объем расходов и используемых площадей. При рассмотрении возможности стыковки АЭС с когенерационной установкой с использованием промежуточного контура, как правило, большее внимание уделяется аспектам безопасности.

В.2. Термоядерный синтез

177. Развитие научной, технической и технологической базы термоядерного синтеза до уровня, когда термоядерная энергия сможет поступать в электросеть, - это одна из самых сложных - и потенциально самых перспективных - задач XXI века.

178. Начав в 2006 году проект по созданию Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), несколько стран мира объединили усилия, чтобы продемонстрировать научную и технологическую возможность и характеристики безопасности использования в мирных целях термоядерной энергии на уровнях мощности более 500 МВт.

179. 10 ноября 2012 года правительство Франции опубликовало "Указ 2012-1248" о создании ядерной установки ИТЭР, что стало знаковым событием в истории ИТЭР и всей мировой программы термоядерного синтеза. В настоящее время создается площадка для ИТЭР, и уже с октября 2012 года используется новый офисный комплекс. Завершена прокладка "специального маршрута" длиной 104 км для перевозки крупных узлов из порта Марселя на площадку ИТЭР; в сентябре 2013 года маршрут был успешно пройден испытательным трейлером массой 800 т, характеристики которого повторяли характеристики самых крупных и тяжелых грузов для ИТЭР (см. рис. В-4). Эти успешные учения открывают возможность организовать доставку настоящих узлов ИТЭР, которая начнется летом 2014 года.



РИС. В-4. Площадка ИТЭР в сентябре 2013 года (слева). 800-тонный трейлер с тягачом с дистанционным управлением, имитирующий вес и размеры крупнейших грузов ИТЭР (10 м в высоту, 33 м в длину, 9 м в ширину); на испытаниях, длившихся четыре ночи подряд, он прошел "специальный маршрут" длиной 104 км со средней скоростью 5 км/ч (фото: ИТЭР).

180. По состоянию на 21 ноября 2013 года, т.е. по прошествии семи лет со дня подписания Соглашения ИТЭР в Париже, были подписаны все основные контракты о строительных работах на площадке, что стало одним из важнейших рубежей этого проекта, и соответствующими предприятиями по графику изготавливались главные компоненты. К ним относятся критически важные компоненты, такие как сверхпроводящие катушки, вакуумная камера и криостат. В 2013 году на площадке ИТЭР работало приблизительно 500 строителей. В пиковый период строительства, который придется на 2014-2015 годы, их число увеличится до 3000. Текущим общим графиком предусмотрено завершение монтажа машин и получение первой плазмы в эксплуатационном режиме в ноябре 2020 года. В ноябре 2013 года было принято важное решение, которое позволит сэкономить средства на реализацию проекта: эксплуатация начнется с использованием полностью вольфрамового дивертора (устройства для приема потоков частиц и излучений с периферии плазменного шнура в термоядерном реакторе с магнитным удержанием), а не дивертора из углеродного волокна, который на втором этапе эксплуатации должен быть заменен вольфрамовым дивертором.

181. По мере продолжения строительства ИТЭР во всемирной программе термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы все более явственно намечается переход к производству энергии термоядерного синтеза в промышленном, заводском масштабе. Многие страны самостоятельно разрабатывают программные планы и начинают проведение новых НИОКР с целью продемонстрировать готовность технологии термоядерного синтеза к промышленному внедрению. В совокупности эти планы и мероприятия образуют программу создания демонстрационной термоядерной энергетической установки (DEMO), хотя единого или согласованного видения дорожной карты для демонстрации производства электроэнергии путем термоядерного синтеза не существует.

182. Решение научных и технических вопросов, связанных с DEMO, и выполнение требований, относящихся к установке, представляют общий интерес, даже если у государств различаются первоочередные задачи и приоритеты. В 2012 году Агентство организовало серию семинаров-практикумов по программе DEMO в целях содействия международному сотрудничеству в области определения и координации деятельности. Сразу же после 24-й Конференции МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза, состоявшейся в Сан-Диего, США, в октябре 2012 года в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе Агентством был проведен первый семинар-практикум по программе DEMO. На семинаре-практикуме в ходе обсуждения было подчеркнуто, что дорожная карта ИТЭР должна включать в себя как интегрированные термоядерные установки, так и установки по облучению материалов для термоядерного

синтеза. В настоящее время идет работа по планированию для некоторых из этих основных установок. Дорожная карта, а также оптимальные способы сотрудничества будут определяться в рамках инициатив по строительству и эксплуатации этих крупномасштабных установок, которые реализуются сторонами проекта.

183. Так, недавно в рамках Европейского соглашения по исследованиям в области термоядерного синтеза была выпущена официальная дорожная карта освоения термоядерной энергии¹⁷. В этой дорожной карте процесс освоения термоядерной энергии представлен в разбивке по восьми миссиям. В отношении каждой миссии рассматривается текущее состояние исследовательской работы, определяются нерешенные вопросы, предлагается программа научных исследований и опытно-конструкторских разработок и оцениваются требуемые ресурсы. В дорожной карте отмечена потребность в более активном участии промышленности и необходимость задействовать все возможности для сотрудничества за пределами Европы. В этой дорожной карте предусматривается, что в начале 2040-х годов начнется эксплуатация термоядерной установки DEMO, обеспечивающей чистую отдаваемую в электросети мощность на уровне нескольких сотен мегаватт; это станет еще одним шагом к созданию промышленной термоядерной станции в Европе. Параллельно переходу европейской термоядерной программы с научных на промышленные и технологические рельсы в январе 2014 года на смену Европейскому соглашению по исследованиям в области термоядерного синтеза приходит консорциум "EURO fusion". Эта новая организация будет придерживаться подхода, ориентированного на проекты, оказывая содействие миссиям, предусмотренным дорожной картой, исследованиям основных плазменных процессов и подготовке нового поколения ученых ИТЭР. Инициативы по созданию аналогичных дорожных карт постепенно появляются и в других странах, являющихся сторонами проекта ИТЭР.

184. В декабре 2013 года в Центральных учреждениях Агентства был организован второй семинар-практикум по программе DEMO, на котором обсуждались три основные темы: коды для инженерно-технического проектирования, связанного с физикой термоядерного синтеза, контроль энерговыделения в плазме и примесей в ней, а также сценарии работы плазмы и контроль за ней.

185. В Национальной установке по термоядерному зажиганию (НИФ) при Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, США, применяется схема инерционного удержания с использованием лазеров высокой мощности для возбуждения реакций ядерного синтеза с возможностью достижения высокого положительного энергетического выхода при нагревании и сжатии замороженной дейтериево-тритиевой таблетки. В 2013 году на НИФ были выполнены многие условия, которые считались необходимыми для зажигания, т.е. достижения режима, при котором в результате реакции высвобождается столько же энергии, сколько поступило в систему в целом; он характеризуется достаточной интенсивностью рентгеновского излучения в полости, точной доставкой энергии к мишени и желаемым уровнем сжатия. Однако еще предстоит преодолеть как минимум одно серьезное препятствие - преждевременный разрыв капсулы, окружающей топливную смесь.

186. В октябре 2014 года в Санкт-Петербурге, Российская Федерация, состоится 25-я Конференция МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза - одно из главных мероприятий в этой области.

¹⁷ <http://www.efda.org/wp-content/uploads/2013/01/JG12.356-web.pdf>

С. Применения ускорителей и исследовательских реакторов

С.1. Ускорители

187. Быстрыми темпами идет развитие в области разработки ускорителей, обеспечивающее возможность их применения в новых отраслях, имеющих социальное значение. На сегодняшний день в разработке технологий ускорителей выделены два основных параметра, используемых при определении формы и длины ускорителя: максимальное магнитное поле, которое может воздействовать на пучок ускоренных частиц, и максимальный градиент ускоряющего поля, который может быть достигнут в ускорителе. На сегодняшний день достигнутый максимум индукции магнитного поля составляет примерно 20 тесла при условии использования сверхпроводников. При внедрении новых высокотемпературных сверхпроводников ожидается некоторый прогресс, который позволит создавать поля до 30 тесла. Такое увеличение напряженности магнитного поля, несомненно, является большим шагом вперед, однако его нельзя считать прорывом в области НИОКР, связанных с ускорителями. Тем не менее этот прорыв произошел благодаря недавнему достижению высоких значений градиента ускоряющего поля: если обычный ускоритель позволяет добиться значений 20-50 МэВ/м, то в ускорителе плазмы с кильватерным полем (УПКП) пучок электронов на том же расстоянии можно разогнать до энергии 200 ГэВ. В УПКП высокоинтенсивный низкоэнергетический электронный пучок (или интенсивный короткий лазерный импульс) возбуждает плазму, которая формируется посредством ионизации газа лазером или ионизации полем за счет самого входящего электронного пучка. Принцип работы показан на рисунке С-1.

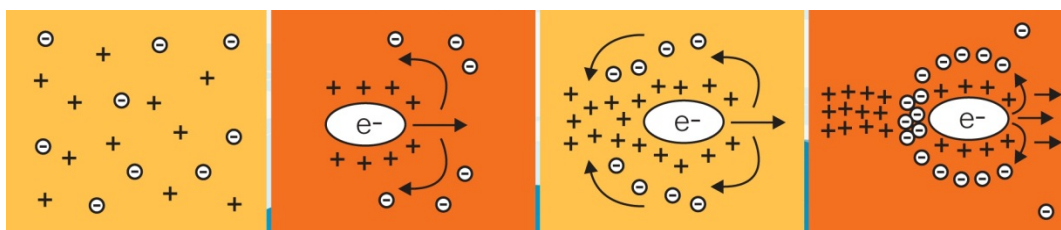


РИС С-1. Слева направо: а) положительно заряженные ионы и свободные электроны образуют плазму; б) сгусток электронов входит в плазму и отталкивает все свободные электроны. Положительные ионы группируются вокруг сгустка; в) теперь уже вытесненные свободные электроны притягиваются положительными ионами, оставшимися в кильватере сгустка; г) свободные электроны на новых местах в кильватере сгустка придают сгустку электронов ускорение.

188. Плазменные ускорители обладают огромным потенциалом в области создания мощных электронных пучков с использованием лишь малой доли того пространства, которое требуется традиционным ускорителям. Возможное уменьшение размеров и соответствующее снижение стоимости может позволить создать в будущем "настольные" лазерные плазменные ускорители. Как было продемонстрировано в Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, лазерный импульс через капилляр (размером меньше капилляра ладони), заполненный водородной плазмой, создает кильватерное поле, которое может ускорять электронный пучок до энергии 1 млрд эВ на расстоянии всего 3,3 см.

189. Синхротронное излучение испускается электронами, движущимися по кругу со скоростью, близкой к скорости света. Электроны отклоняются магнитным полем, которое формируется изогнутыми магнитами, установленными по окружности. Синхротронное излучение состоит из яркого инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского излучений. Пучки излучения направлены по касательной к траектории электронов и распространяются по прямой в направлении каналов вывода пучка, т.е. приборов, состоящих из последовательности отсеков. Первый отсек включает в себя такие элементы, как диафрагмы, фильтры, зеркала и монохроматоры.

190. Синхротронное излучение позволяет изучать структурные особенности вещества, в том числе в масштабе, позволяющем различать расположение отдельных атомов. Методы анализа на основе синхротронного излучения дают возможность получить информацию о пространственной структуре материалов, их химическом и электронном строении, их микроструктуре, а также о свойствах поверхностей, границ раздела, тонких пленок и мультислоев. Синхротронное излучение может использоваться для получения изображений поперечных срезов вещества в целях анализа его поведения с наносекундными интервалами. Поэтому оно является незаменимым инструментом для прикладных исследований в самых разнообразных областях, таких как разработка новых материалов, имеющих отношение к нанотехнологии, электроника, системы связи, производство и хранение энергии, медицина и здравоохранение, транспорт и охрана окружающей среды.

191. Ускорители используются также для производства таких радиоизотопов, как фтор-18, медь-64 и углерод-11. Начатый в 2011 году проект координированных исследований МАГАТЭ посвящен непосредственному производству на циклотронах важнейшего медицинского изотопа молибден-99 ($Mo-99$) и продукта его распада – технеция-99m ($Tc-99m$). В отличие от обычного процесса деления для производства $Mo-99$ в реакторе с использованием урановых мишеней, в этих технологиях используются мишени из $Mo-100$. Для производства $Mo-99$ на основе трансмутации обогащенного $Mo-100$ может использоваться линейный ускоритель, вместе с тем для производства непосредственно $Tc-99m$ облучением $Mo-100$ могут использоваться циклотроны.

192. Ведущими учреждениями по осуществлению канадской программы в этой области являются Университет Альберты (циклотрон), TRIUMF (циклотрон), и "Прэри изотоп продакшн энтерпрайз" (линейный ускоритель). Ведется работа, призванная продемонстрировать производство изотопов в коммерческих объемах, и недавно TRIUMF объявила о достижении объемов производства, достаточных для снабжения отделений ядерной медицины 10-20 больниц. Существенное экологическое и экономическое преимущество этих двух технологий состоит в том, что отходы образуются в небольших объемах, и в том, что касается рециклирования $Mo-100$, проекты демонстрируют эффективность порядка 90%. Ведутся работы, призванные обеспечить соблюдение регулирующих требований и преодоление остающихся технических и коммерческих проблем.

193. В рамках адресных программ и видов деятельности Лаборатория ядерной спектроскопии и применений (ЛЯСП) Агентства содействует разработке методов рентгеновской спектроскопии на основе лабораторных установок и ускорителей для междисциплинарных применений и фундаментальных исследований. На основе проекта НИОКР, начатого ЛЯСП в 2011 году, Агентство и итальянская компания "Эллетра" подписали в 2013 году контракт о строительстве и эксплуатации нового тракта рентгеновского флуоресцентного пучка. Опытная экспериментальная станция, предоставленная Агентством, была установлена в тракте пучка в последнем квартале 2013 года. Это позволит организовать для государств-членов практическое обучение методам усовершенствованной рентгеновской спектроскопии, таким как рентгеновская флуоресценция (РФ), рентгеновская флуоресценция с полным отражением

(РФПО) и рентгеновская флюоресценция со скользящим падением/выходом в сочетании с рентгеновским отражением и рентгеновской абсорбционной спектроскопией, а также обучение методам содействия соответствующим исследованиям и академическим учебным программам.

194. С этой целью уже в 2013 году начата реализация проекта координированных исследований для повышения качества и конкурентоспособности исследовательской деятельности государств-членов в области методов рентгеновской спектроскопии на основе синхротронного излучения посредством содействия в организации усовершенствованного практического обучения, организации экспериментальных работ и проведения исследовательской деятельности в конечном блоке (рис. С-2) сверхвысоковакуумной камеры (UHVC) тракта РФ-пучка компании "Элеттра".

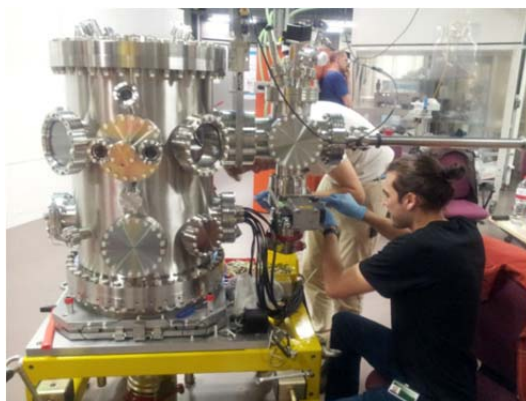


РИС. С-2. Сборка конечного блока UHVC.

195. При определении характеристик исторических артефактов возможность радиационного повреждения, как правило, вызывает беспокойство ученых, кураторов, специалистов по охране и реставрации и археологов. В связи с воздействием больших доз существует риск ухудшения характеристик изучаемого материала. Некоторые повреждения, например, образующиеся в стекле цветные пятна или бурое окрашивание органических соединений, можно заметить невооруженным глазом. Даже при отсутствии прямых видимых последствий для образца или объекта одним из основных факторов риска при анализе является потенциальная утрата информации или – что еще хуже – получение вводящей в заблуждение или необъективной информации из места, поврежденного излучением.

196. На данный момент было проведено несколько системных исследований изменения цвета вследствие ионно-пучкового анализа бумаги; так, в одном из исследований сообщалось о появлении следов на двух типах искусственно состаренной тряпичной бумаги (с матовой подложкой и без подложки) в результате воздействия протонов с энергией в МэВ-диапазоне при различных условиях¹⁸. На рисунке С-3, взятом из этого исследования, показан типичный набор наблюдаемых эффектов. Авторы пришли к выводу, что при условиях воздействия, не превышающих определенных критериев, видимых следов не появляется даже после циклического воздействия влажности и температуры, направленного на имитацию старения примерно до 100 лет.

197. Радиационное повреждение материалов культурного наследия - это один из существенных механизмов их старения и ухудшения их характеристик. Тем не менее аналогичный процесс происходит, когда образцы культурного наследия облучают в целях сохранения и определения

¹⁸ MILOTA P. et al., "PIXE measurements of Renaissance silverpoint drawings at VERA", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 266 (2008) 2279–2285.

их характеристик. Агентство занимается этими вопросами в рамках технических совещаний, круговых экспериментов и разработки передовых методов и протоколов. Цель этой деятельности - предложить новую процедуру для определения характеристик воздействия излучения на материалы культурного наследия. Такая процедура могла бы быть основана, помимо непосредственного визуального контроля, на соответствующих видах деятельности из смежных отраслей, с тем чтобы обеспечить ценную информацию о механизмах повреждения разнообразных и иногда уникальных материалов культурного наследия, и в ней могли бы быть проанализированы стратегии мониторинга радиационного повреждения и предложены стратегии смягчения его последствий.

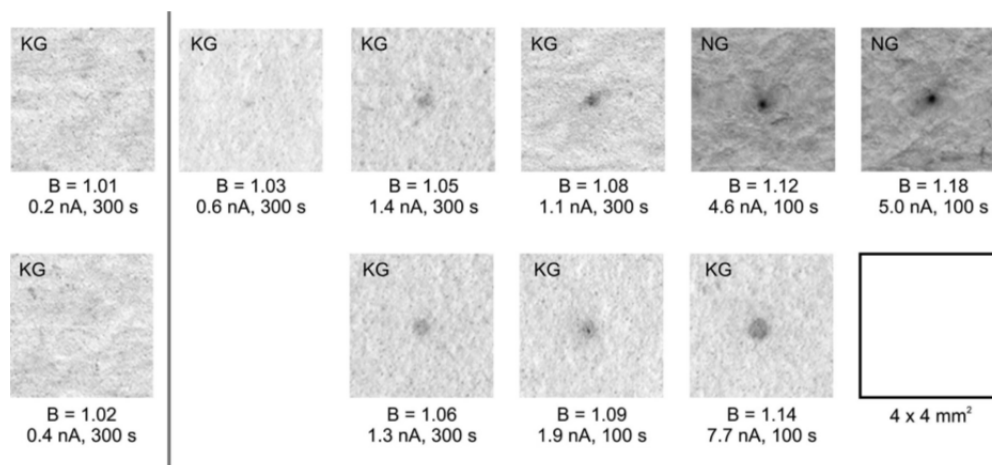


РИС С-3. Увеличенные изображения облученных участков бумаги после ускоренного старения, упорядоченные по возрастанию степени облучения протонами. NG - тряпичная бумага без основы; KG - тряпичная бумага с матовой основой. Значение черного цвета B (которое представляет собой отношение значений по шкале серых тонов в той или иной точке и вокруг нее) указывает величину потемнения, вызванного воздействием пучка. На отделенных вертикальной чертой рисунках слева, где значение B не превышает 1,02, видимого эффекта не наблюдается (источник: Milota et al. 2008).

198. В интересах пользователей ускорителей, исследователей и аналитических служб всего мира Агентство запускает Портал знаний об ускорителях. Этот портал знаний содержит не только базу данных о мегавольтных ускорителях частиц во всем мире, но и имеет также несколько функций для сетевого взаимодействия и общения, позволяющих объединить специалистов, занимающихся ионными пучковыми ускорителями, а также предоставлять информацию пользователям ускорителей и директивным органам.

С.2. Исследовательские реакторы

199. Исследовательские реакторы используются в первую очередь для генерации нейтронов для исследований и различных применений, включая обучение и подготовку кадров, как показано в таблице С-1. Мощность исследовательских реакторов измеряется в мегаваттах, и ее уровни могут быть различными – от нуля (например, в случае критической или подкритической сборки) до 200 МВт (тепл.), по сравнению с 3000 МВт (тепл.) (т.е. 1000 МВт (эл.)) для типичного большого энергетического реактора.

200. По состоянию на 31 декабря 2013 года во всем мире в эксплуатации находились 245 исследовательских реакторов¹⁹. Кроме того, 20 исследовательских реакторов находились в режиме временного останова, а 142 – в режиме долгосрочного останова. Из числа находящихся в эксплуатации реакторов, 57 являются высокомошными; они работают на уровнях мощности более 5 МВт и создают более плотные нейтронные потоки. Еще 338 исследовательских реакторов были выведены из эксплуатации. Большинство действующих исследовательских реакторов по-прежнему используются не на полную мощность, являются очень старыми и поэтому требуют непрерывного управления старением, модернизации и переоборудования.

Таблица С-1. Применение исследовательских реакторов во всем мире²⁰.

Тип применения	Число соответствующих исследовательских реакторов ^a	Число государств-членов, в которых находятся используемые установки
Обучение/подготовка кадров	174	54
Нейтронно-активационный анализ	128	54
Производство радиоизотопов	96	43
Облучение материалов/топлива ^c	80	29
Нейтронная радиография	72	41
Нейтронное рассеивание	50	33
Трансмутация (легирование кремния)	30	19
Геохронология	26	22
Трансмутация (драгоценные камни)	21	12
Бор-нейтрон-захватная терапия, в основном НИОКР	18	12
Другие ^b	137	35

^a Из 280 рассмотренных исследовательских реакторов (на 31 декабря 2013 года: 245 в эксплуатации, 20 временно остановлены, 5 в стадии строительства и 10 запланированы).

^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.

^c Агентство разрабатывает всеобъемлющий каталог "Capabilities and Capacities of Research Reactors towards the Deployment of Innovative Nuclear Energy Systems and Technologies" ("Возможности и потенциал исследовательских реакторов в связи с созданием инновационных ядерно-энергетических систем и технологий").

201. В последние годы стабильно растет интерес государств-членов к развитию программ исследовательских реакторов. В ряде государств-членов находятся на различных этапах осуществления новые проекты, причем некоторые хотят сделать свой первый исследовательский реактор начальным шагом своей страны к созданию инфраструктуры для ядерной науки и технологий. Продолжается сооружение новых исследовательских реакторов в Иордании (рис. С-4), Российской Федерации и Франции. Официальные планы строительства новых исследовательских реакторов есть еще у нескольких государств-членов: Аргентины, Бельгии, Бразилии, Индии, Республики Корея, Нидерландов, Российской Федерации, Саудовской Аравии и Южной Африки.

¹⁹ Источник: база данных по исследовательским реакторам МАГАТЭ (<http://nucleus.iaea.org/RRDB>).

²⁰ Источник: база данных по исследовательским реакторам МАГАТЭ (<http://nucleus.iaea.org/RRDB/>).



РИС. С-4. Слева: в июне 2013 года в Иордании была выдана лицензия на эксплуатацию подкритической сборки с нулевой мощностью (фото: Иорданский научно-технологический университет). Справа: в октябре 2013 года строительство иорданского исследовательского и учебного реактора мощностью 5 МВт было завершено на 49% (фото: Иорданская комиссия по атомной энергии).

202. Вопрос о создании новых²¹ исследовательских реакторов рассматривают и другие государства-члены, такие как Бангладеш, Беларусь, Вьетнам, Кувейт, Ливан, Нигерия, Объединенная Республика Танзания, Судан, Таиланд и Тунис.

203. По мере вывода из эксплуатации более старых 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 2013 году региональные сети и коалиции исследовательских реакторов при содействии Агентства²² внесли вклад в развитие международного сотрудничества и оказали помощь в расширении круга пользователей исследовательских реакторов.

204. На протяжении всего 2013 года в рамках выдвинутой США Инициативы по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ) продолжалось выполнение задачи по 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 2013 года 88 из них были либо переведены на НОУ топливо, либо остановлены до перевода.

205. В качестве одного из недавних положительных примеров многостороннего международного содействия и сотрудничества в области минимизации присутствия ВОУ можно привести удаление ВОУ топлива и план снятия с эксплуатации исследовательского реактора "Фотон" в Ташкенте, Узбекистан. По состоянию на конец 2013 года правительство Узбекистана работает над тем, чтобы обеспечить финансирование вывода из эксплуатации площадки этого реактора.

206. Кроме того, в Чешской Республике был полностью переведен на НОУ топливо исследовательский реактор LVR-15, а оставшиеся 70 кг отработавшего ВОУ топлива были отправлены обратно в Российскую Федерацию в апреле 2013 года. Во Вьетнаме после перевода с ВОУ на НОУ топливо исследовательского реактора TRIGA в Далате в июле 2013 года

²¹ Недавняя публикация Агентства "Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project" ("Специфические особенности и основные этапы проектов исследовательских реакторов") (Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии № NP-T-5.1) призвана помочь государствам-членам в этой области.

²² 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.

оставшееся отработавшее ВОУ топливо (примерно 12 кг) было возвращено в Российскую Федерацию. В Венгрии в январе 2013 года была завершена конверсия активной зоны Будапештского исследовательского реактора (БИР) мощностью 10 МВт, а в октябре и ноябре 2013 года последняя партия ВОУ весом примерно 49 кг была отправлена в Российскую Федерацию (рис. С-5). По завершении данных проектов ни в одном из этих трех государств-членов не осталось ВОУ топлива²³.



РИС. С-5. Слева: затяжка болтов на специальных транспортных контейнерах с отработавшим ВОУ топливом для перевозки из Далатского института ядерных исследований, Вьетнам, в Российскую Федерацию. Справа: помещение защитного транспортного пакета на транспортный контейнер с отработавшим ВОУ топливом с БИР в Венгрии. Конструкция этого транспортного пакета дает возможность перевозить его воздушным транспортом.

207. Переход на НОУ и возвращение ВОУ топлива нередко сопровождаются серьезными шагами по модернизации инфраструктуры. Например, по линии Инициативы Агентства в отношении мирного использования ядерной энергии финансируется программа комплексной модернизации исследовательского реактора TRIGA Mark III в Мексике. На Украине в Харьковском физико-техническом институте при финансовой и технической поддержке министерства энергетики США, оказываемой после возвращения всего ВОУ в Российскую Федерацию, идет сооружение подкритической установки с ускорителем, работающей на НОУ.

208. Китай продолжил 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.

²³ Со времени начала реализации совместной инициативы Агентства, Соединенных Штатов и Российской Федерации в 2002 году в Россию в рамках 56 операций по перевозке было передано в общей сложности более 2000 кг ВОУ российского производства.

209. После смягчения проблемы дефицита поставок Мо-99, наблюдавшейся в течение 2012 года, в 2013 году вновь возникли эксплуатационные проблемы на перерабатывающих установках и старых исследовательских реакторах. В связи с изменениями в структуре спроса и некоторой диверсификацией поставок этот дефицит не привел к кризису такого же масштаба, как кризис 2007-2010 годов. Продолжился перевод процессов производства медицинских изотопов с ВОУ на НОУ. Основными поставщиками Мо-99, произведенного не на основе ВОУ, остаются Австралия и Южная Африка, при этом в Южной Африке продолжился перевод технологических процессов на исключительное использование НОУ. В Бельгии и Нидерландах (двух других основных производителей медицинских изотопов) продолжилась разработка планов перевода промышленных производственных процессов с ВОУ на НОУ.

210. Для конверсии высокопоточных и высокоэффективных исследовательских реакторов требуется усовершенствованное уран-молибденовое топливо весьма высокой плотности, которое разрабатывается в настоящее время. Несмотря на значительный прогресс в этой области, достигнутый до 2013 года, для обеспечения своевременной коммерческой доступности аттестованного НОУ топлива необходимы дальнейшие усилия и испытания, особенно в целях реализации программ облучения и послереакторного исследования топлива, а также в области методов его изготовления.

211. После конверсии соответствующих реакторов TRIGA было отмечено увеличение мирового спроса на топливо TRIGA. С 2010 года новые топливные элементы не поставлялись, что поставило под угрозу текущую эксплуатацию нескольких реакторов TRIGA во всем мире. В связи с этими общими угрозами в июне 2012 года сообщество пользователей реакторов TRIGA приступило к созданию Глобальной сети исследовательских реакторов TRIGA (ГСИРТ). Официальное оформление ГСИРТ произошло в ноябре 2013 года в Вене, где был создан ее Руководящий комитет. ГСИРТ будет работать над решением проблем, касающихся 38 действующих установок TRIGA во всем мире, в основном в области поиска альтернативных решений различных вопросов, таких как поставки свежего топлива, продление сроков программы США по возвращению отработавшего ядерного топлива, повышение эффективности использования, управление старением, эксплуатация и обслуживание.

212. В 2013 году продолжалась работа по содействию использованию и расширению использования исследовательских реакторов в учебно-образовательных целях. Осуществлялись международные проекты, в том числе по поиску путей увеличения числа, типов и повышению качества учебных курсов, предоставлению доступа молодым специалистам в развивающихся странах всего мира и задействованию исследовательских реакторов в базовом и профильном образовании, связанном с ядерной наукой и технологией.

D. Применение ядерных методов для повышения продуктивности животноводства при сокращении выбросов парниковых газов

213. Производство достаточного количества продуктов питания для удовлетворения потребительского спроса растущего населения нашей планеты – это проблема общемировой значимости. Она осложняется экологическими последствиями получения продовольствия, которое требует энергозатрат и тем самым способствует росту выбросов парниковых газов (ПГ). На долю сельскохозяйственного сектора, включая животноводство, приходится около 22% общемирового объема выбросов²⁴. Надлежащие методы животноводства могут повысить количество и качество домашнего скота и животноводческой продукции и одновременно сократить выбросы ПГ.

214. В настоящем разделе рассматриваются инновационные ядерные и смежные технологии, которые могут быть освоены и применены для улучшения питания, воспроизводства, разведения и здоровья животных и тем самым способствовать устойчивой продовольственной безопасности с одновременным смягчением последствий изменения климата за счет сокращения выбросов ПГ. В Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) это называют климатически оптимизированным сельским хозяйством²⁵.

D.1. Экологически чистое животноводство

215. Для того чтобы сдержать рост глобальной температуры до менее чем 2°C – уровня, на котором, как указывается в Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, последствия изменения климата могут стать необратимыми, – животноводческая отрасль должна решить двоякую проблему наращивания производства для обеспечения всемирной продовольственной безопасности и сокращения совокупных выбросов ПГ в интересах защиты окружающей среды. Таким образом, необходимы исследования для создания современных технологий и платформ, которые могли бы одновременно решать обе эти задачи.

D.1.1. Удовлетворение растущего спроса на пищевые продукты животного происхождения

216. К 2050 году в результате роста населения, увеличения доходов и ускорения процесса урбанизации потребление продуктов животного происхождения, как ожидается, вырастет на 70%. В этой связи потребуется многократно увеличить объем производства животноводческой продукции. По современным оценкам, на долю животноводства приходится примерно 14,5% (7,1 гигатонн/год в пересчете на CO₂) совокупных антропогенных выбросов ПГ²¹. Двумя главными источниками выбросов ПГ в животноводстве являются производство и переработка кормов и ферментация корма в рубце у домашних животных; на их долю приходится 45% и 39% объема выбросов в этом секторе, соответственно. Наибольшая часть ПГ в животноводстве генерируется домашним скотом (65%), и 31% этих ПГ – это кишечный метан. Это объясняют

²⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Tackling climate change through livestock — A global assessment of emissions and mitigation opportunities, (FAO, Rome, (2013).

²⁵ <http://www.fao.org/climatechange/climatesmart/en/>

потерей питательных веществ, и поэтому повышение эффективности переваривания кормов позволит сократить потери в виде кишечного метана.

217. Другие источники выбросов ПГ в животноводстве – это хранение и переработка навоза (10%), расширение пастбищ и посевов кормовых культур за счет ранее залесенных районов (9%) и потребление органического топлива во всех категориях логистической цепочки данного сектора (20%). Краткосрочные и среднесрочные цели уменьшения выбросов ПГ и цели прироста продуктивности животноводства могут быть достигнуты благодаря переходу на надлежащие методы земледелия для повышения эффективности использования кормов и продуктивности на уровне отдельных особей и всего поголовья. Реализация долгосрочных задач потребует инновационных исследований в целях содействия выведению более выносливых и продуктивных пород, приспособленных к суровым климатическим условиям, резистентных к болезням и способных потреблять низкокачественные корма и пожнивные остатки (рис. D-1). Кроме того, необходимы исследования для повышения усвояемости пожнивных остатков без ущерба для урожайности зерновых и для выведения злаковых трав, которые могли бы произрастать в суровых климатических условиях, обеспечивая более высокий выход биомассы с лучшей усвояемостью для потребления скотом.



РИС. D-1. Коровы местной породы кури в Чаде дают высокие надои молока и приспособлены к суровым природным условиям.

D.1.2. Надлежащие методы сокращения выбросов ПГ

218. Как указывает ФАО, в секторе животноводства можно добиться 30-процентного сокращения выбросов ПГ, если все производители в данном конкретном районе возьмут на вооружение методы климатически оптимизированного сельского хозяйства, которые уже введены ведущими 10 процентами производителей²⁶. Целью исследований должно быть сокращение выбросов ПГ за счет улучшения методов, а не изменения систем производства, которые варьируются в зависимости от пород скота и регионов. Мероприятия по сокращению выбросов ПГ не должны вести к росту энергозатрат в других секторах. Например, благодаря интенсификации систем производства и созданию сбалансированного кормового рациона при помощи зерновых животноводческая отрасль в США и Западной Европе производит 9-10 млн тонн белка, генерируя выбросы, составляющие примерно 0,6 гигатонн в пересчете на CO₂. Для сравнения можно отметить, что регион Латинской Америки и Карибского бассейна производит равный объем белка, выкармливая скот на пастбищах плохого качества кормами с ограниченными добавками зерновых, генерируя 1,3 гигатонн в пересчете на CO₂.

²⁶ Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

219. Однако необходимы исследования для установления того, не приведет ли интенсификация животноводства за счет добавления в кормовой рацион зерновых к увеличению выбросов ПГ вследствие роста потребления органического топлива и производства зерновых. Избыточное потребление воды для более интенсивного ведения животноводства может стать источником дополнительных экологических проблем. Это свидетельствует о необходимости проведения тщательных исследований для выработки комплексных подходов к повышению продуктивности животноводства при сохранении выбросов ПГ на минимально возможном уровне.

D.1.3. Компромисс между увеличением объемов производства и мероприятиями по уменьшению выбросов

220. Решающим фактором в управлении любой производственной системой зачастую является прибыльность, и ею, скорее всего, и будут определяться все решения о принятии мер по уменьшению выбросов ПГ. Поэтому такие технологии должны вести к повышению эффективности животноводства на уровне отдельных особей и всего поголовья. На самом деле большинство мероприятий по уменьшению выбросов приносят пользу не только окружающей среде, но и сельскохозяйственной экономике. Например, повышение качества кормов и балансирование рациона ведет не только к снижению выбросов ПГ в результате жизнедеятельности животных и переработки навоза, но и к росту производительности и доходов²⁷. Совершенствование методов разведения и ветеринарного ухода способствует снижению накладных расходов в связи с разведением (животные, которые отобраны для разведения, но еще не приносят потомство, хотя и потребляют ресурсы) и сокращению связанных с этим выбросов.

221. Как выяснилось, мелкие фермерские хозяйства двойной направленности, которые держат скот молочно-мясного направления, генерируют в четыре раза меньше выбросов ПГ по сравнению со специализированными хозяйствами, которые ведут по отдельности мясное или молочное направление²⁸. Повышению качества и увеличению количества мяса у скота молочно-мясного направления могут способствовать генетическая характеристика и селекция при помощи меченых атомов, а также улучшенное питание. Например, в рамках координируемого Агентством проекта по генетической характеристике мелких жвачных животных на резистентность к желудочно-кишечным паразитам во всех 12 участвующих государствах-членах были определены породы овец и коз, обладающие более высокой резистентностью к желудочно-кишечным паразитам (рис. D-2). Переданные в рамках проектов технического сотрудничества технологии, такие как экстракция ДНК, картографирование панели радиационных гибридов, секвенирование полного генома при помощи протонов ионов, микроматричный анализ однонуклеотидного полиморфизма (ОНП) и генотипирование, могут использоваться и в других геномных исследованиях, например для определения такой характеристики пород, как скорость основного обмена, и лучшего использования низкокачественных кормов и пожнивных остатков, а также побочных продуктов.

²⁷ HRISTOV et al., Special Topics — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, *Journal of Animal Science*, 91 (2013): 5045–5069.

²⁸ Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.



РИС. D-2. Козы местных пород в Анголе толерантны к болезням и питаются кормами низкого качества.

D.2. Ядерные методы в борьбе с выбросами ПГ

222. Ядерные методы с использованием стабильных изотопов и радиоизотопов – важный инструмент животноводческих и ветеринарных исследований. Сравнительное преимущество ядерных методов в животноводческих исследованиях и диагностике заключается в том, что они являются более избирательными и чувствительными по сравнению с неядерными методами²⁹. Ядерные методы, описанные в нижеследующих пунктах, имеют отношение к практике количественной оценки и сокращения выбросов ПГ и касаются таких вопросов, как кишечная ферментация, разложение навоза, производство кормов и фуража, эффективность использования кормов и организация пастбищного хозяйства.

D.2.1. Повышение усвояемости грубых кормов низкого качества

223. Повышение усвояемости кормов жвачными животными зависит от балансирования кормового рациона, ведущего к улучшению ферментации в рубце микроорганизмами, которые производят летучие жирные кислоты (уксусную кислоту, масляную кислоту, пропионовую кислоту) и тем самым дают животным питательные вещества. Дополнительным результатом этого процесса является рост микробной массы, который удовлетворяет часть потребностей жвачного животного-хозяина в белке. В ходе этого процесса пуриновые основания, присутствующие в ДНК и РНК кормов и микроорганизмов, разлагаются до дериватов пурина (ДП), таких как ксантин, гипоксантин, мочевая кислота и аллантоин, которые выводятся из организма с мочой.

224. Обнаружение ДП в моче – это неинвазивный метод *in vivo* для оценки содержания микробного белка, который предпочтительнее обычных методов, являющихся инвазивными. Для создания моделей взаимосвязи между поглощением пурина и выведением ДП с мочой используются изотопные индикаторы на основе углерода-14, такие как мочевая кислота, меченная углеродом-14, и аллантоин, меченный углеродом-14³⁰. Для оценки интенсивности выработки летучих жирных кислот практикуется введение уксусной и пропионовой кислот, меченных углеродом-14. Мочевина, меченная азотом-15, бикарбонат аммония, меченный азотом-15, и хлорид аммония, меченный азотом-15, могут использоваться для изучения

²⁹ VILJOEN et al., The role of nuclear technologies in the diagnosis and control of livestock diseases—a review, *Tropical Animal Health and Production*, 44 (2012): 1341-1355.

³⁰ МАККАР Н.Р.С., A review of the use of isotopic and nuclear techniques in animal production, *Animal Feed Science and Technology*, 140 (2008) 418–443.

микробиологического разложения низкокачественного волокна, микробной массы, использования небелкового азота, повторного использования мочевины, синтеза микробного белка и взаимного превращения аминокислот в рубце.

225. Скорость синтеза микробного белка определяется путем введения в микроорганизмы рубца фосфора-32, фосфора-33, азота-14 или серы-35. Меченые минеральные вещества, такие как фосфор-32, селен-75, кальций-45, мышьяк-76 и медь-67, используются для изучения минерального дисбаланса у сельскохозяйственных животных. Этилендиаминтетрауксусная кислота, меченная кобальтом-58, фенантролин, меченный рутением-104, и корма, меченные хромом-51, используются для определения скорости прохождения. Методы введения бикарбоната натрия, меченного углеродом-13/углеродом-14, применяются для оценки уровня выработки диоксида углерода в рубце. Эти исследования закладывают основу для повышения усвояемости кормов, что, в свою очередь, увеличивает эффективность конверсии корма и использования энергии и ведет к сокращению выбросов ПГ в расчете на единицу продукта. Кроме того, выбросы метана в результате жизнедеятельности жвачных животных могут оцениваться при помощи изотопного разбавления метаном, меченным водородом-3 или углеродом-14³¹.

D.2.2. Генетическая характеристика микрофлоры рубца для повышения усвояемости кормов жвачными животными

226. Микроорганизмы рубца играют важнейшую роль в разложении сложных растительных структур на питательные вещества, необходимые для их собственного роста, а также для роста животных-хозяев. Фитогенетическое многообразие микробной среды рубца было описано путем исследования малой субъединицы рибосомной РНК или соответствующих генов. Такие технологии, как олигонуклеотидные зонды, меченные фосфором-32, электрофорез в денатурирующем градиентном геле, флуоресцентная гибридизация *in situ* и полимеразная цепная реакция (ПЦР) в реальном времени, помогают дать характеристику и количественную оценку микроорганизмам рубца и их динамике. Использование зондов со стабильными изотопами для идентификации ДНК весьма перспективно с точки зрения увязывания генетической информации о микроорганизмах с биологическими функциями. Метагеномные исследования с использованием методов секвенирования следующего поколения помогают получить полную картину генома микроорганизмов рубца и установить общее количество плазмид. Это позволяет заняться изучением неисследованных доменов белка, таких как новые генетические последовательности, возникающие в отдельных белках в результате их эволюции, и их функциональных особенностей с точки зрения усвояемости кормов жвачными животными³².

D.2.3. Селекция домашнего скота для повышения продуктивности при сохранении приспособляемости к местным условиям

227. Определение генов-мишеней и характеристика геномов местных и адаптированных пород облегчит идентификацию полезных генных признаков, в частности тех, которые отвечают за резистентность к болезням (например, к желудочно-кишечным паразитам, трипаномозу) или за способность жить в условиях климатического или питательного стресса. Меченные изотопами зонды ДНК, методы дот-блот гибридизации и картографирование радиационных гибридов, наряду с неядерными биотехнологиями, такими как ПЦР и секвенирование

³¹ См. сноску 21.

³² FOUTS et al., Next generation sequencing to define prokaryotic and fungal diversity in the bovine rumen, PLoS One, 7 (2012).

следующего поколения для генетической характеристики, помогают в деле селекции домашнего скота при помощи меченых атомов для повышения продуктивности и приспособляемости.

D.2.4. Повышение продуктивности на уровне поголовья и сокращение выбросов ПГ

228. Увеличение доли дающих молоко особей в стаде молочного скота ведет к сокращению выбросов ПГ в расчете на единицу произведенного молока. Прогестерон, меченый йодом-125, используется в радиоиммуноанализе (РИА) для определения содержания прогестерона в крови, молоке и других жидкостях и выделениях организма³³. Прогестерон – это репродуктивный гормон, определение которого помогает диагностировать беременность, нарушения течкового цикла и репродуктивные расстройства, например у коров и буйволиц. Такая диагностика ведет к повышению репродуктивной эффективности, увеличению отёла и надоев молока в отдельно взятом стаде. Метод РИА был разработан и для анализа других репродуктивных гормонов, таких как эстроген, тестостерон, фолликулостимулирующий гормон, лютеинизирующий гормон, хорионический гонадотропин лошади и хорионический гонадотропин человека.

229. Было выявлено несколько молекул, по внешнему виду которых в крови и других жидкостях организма можно проводить раннюю диагностику беременности, а для обнаружения присутствия таких молекул могут использоваться ПЦР и РИА. К этим молекулам относятся связанный с беременностью гликопротеин, фактор ранней беременности, тау-интерферон (т-ИФН) и гены, стимулированные т-ИФН. Т-ИФН особенно перспективен с точки зрения ранней диагностики беременности ввиду его быстрого появления в крови матери. Ранняя диагностика беременности – крайне важный инструмент для управления продуктивностью на уровне поголовья благодаря выявлению особей, которые не беременны, но могут быть использованы для выведения потомства. Это может быть использовано для снижения доли непродуктивных особей и повышения продуктивности всего поголовья.

D.2.5. Характеристика и селекция тропических кормов и создание агрономии кормовых культур

230. Для повышения урожайности и качества кормовых культур широко используется индуцирование мутаций. К качественным улучшениям относится лучшая усвояемость (например, низкое содержание лигнина) и более высокое содержание питательных веществ (например, улучшенный состав белков); они могут достигаться без ущерба для урожайности. Мутационная селекция растений также оказалась эффективным средством выведения кормовых культур, лучше адаптированных к суровым условиям (например, толерантных к заболачиванию, засухе, засолению и экстремальным температурам). Благодаря этому улучшились урожаи этих культур, поскольку они могут выращиваться на маргинальных землях.

231. Смешанная земледельческо-животноводческая производственная система имеет целью производство максимального объема животных и растительных продуктов, в том числе зерновых для потребления человеком, при минимальных потребностях в ресурсах, таких как удобрения, вода и энергия. Для оценки таких улучшений могут использоваться стабильные изотопы. Животноводство вносит существенный вклад в устойчивую интенсификацию комплексного фермерского хозяйства как источник навоза, который используется как

³³ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radioimmunoassay and related techniques to improve artificial insemination programmes for cattle reared under tropical and sub-tropical conditions, IAEA-TECDOC-1220, IAEA, Vienna (2001).

удобрение для почвы, и тягловой силы для обработки земли. В таких системах конечный продукт одного процесса становится исходным материалом для другого, и утечка питательных веществ в окружающую среду, например в форме выбросов ПГ, сводится к минимуму.

232. Бобовые и небобовые культуры, высаживаемые рядом друг с другом, играют взаимодополняющую роль, что позволяет увеличить количество и повысить качество кормов. Злаковые травы используют азот, удерживаемый в почве бобовыми, для выработки большего количества биомассы лучшего качества. Уровень фиксации азота и передачи азота другим культурам можно точно измерить только при помощи метода растворения азотом-15, который предполагает введение в почву удобрения, содержащего азот-15 (например, сульфата аммония, меченного азотом-15/мочевины, меченной азотом-15). Кроме того, удобрение, меченное фосфором-33, может использоваться для оценки эффективности применения фосфора в производстве бобовых кормов.

D.2.6. Лучшая организация пастбищного хозяйства в интересах устойчивого животноводства и здоровой окружающей среды

233. Агроресопастбищные системы, объединяющие в себе лесоводство и выпас скота, имеют преимущества по сравнению с чисто пастбищными животноводческими системами³⁴. Агроресопастбищное хозяйство позволяет не только свести к минимуму выбросы ПГ и химическое загрязнение почвы и водотоков, но и сохранить биоразнообразие за счет минимального использования транспортных средств, удобрений и гербицидов (рис. D-3). Кроме того, агроресопастбищное хозяйство помогает обеспечить здоровую почву с лучшим удержанием влаги, дополнительное питание в виде богатых белком листьев, которыми могут кормиться больше животных, а также тенистые зоны, в которых животные лучше себя чувствуют в жаркую погоду, что, в свою очередь, побуждает их дольше пастись и лучше питаться и тем самым ведет к увеличению надоев молока и/или производства мяса в расчете на единицу площади земли по сравнению с очищенным от леса пастбищем. Для оценки энергозатрат пасущегося скота применяются методы, основанные на использовании воды с двойной меткой (кислород-18 и водород-2).



РИС. D-3. Агроресопастбищные системы животноводства ведут к уменьшению выбросов ПГ и химического загрязнения почвы и водотоков и сохранению биоразнообразия.

³⁴ <http://www.cam.ac.uk/research/news/sustainable-livestock-production-is-possible>.

D.2.7. Использование и рециркулирование навоза при помощи биогазовой технологии

234. При хранении и переработке органическое вещество навоза превращается в метан и азот, что приводит к выбросам закиси азота. Увеличение выбросов происходит, когда навоз хранится в жидкой среде, например в глубоких лагунах или баках выдержки. Меченные стабильным изотопом азот-15 экскреты могут использоваться для наблюдения за трансформацией выведенного из организма азота в окружающей среде и получения данных о выбросах ПГ.

235. Биогаз – это возобновляемый источник энергии, который можно получать из навоза путем анаэробного микробного дигерирования его органического вещества. Благодаря его производству сокращается загрязнение среды содержащими органику сточными водами, которые в противном случае поглощали бы кислород и снижали уровень его содержания в поверхностных водах. Эфлюенты биогаза также дают возможность сохранить в почве азот и фосфор как питательные вещества для растениеводства. Кроме того, этот газ содержит углерод, который удерживается растениями из атмосферного диоксида углерода; следовательно, производство биогаза не сопряжено с образованием углерода и не имеет последствий с точки зрения выбросов ПГ. Как указывает ФАО, если бы весь навоз крупного рогатого скота, вместо того чтобы разлагаться, перерабатывался в биогаз, объем мировых выбросов ПГ можно было бы сократить на 4%, или на 99 млн метрических тонн³⁵.

D.3. Выводы

236. Ядерные методы в сочетании с использованием молекулярных инструментов могут применяться в инновационных исследованиях и технологических разработках для устойчивого повышения продуктивности животноводства с одновременным сокращением выбросов ПГ. Достижение этих двух целей становится все более актуальным по мере того, как население Земли, а вместе с ним и спрос на продукцию животного происхождения растет, а смягчение последствий изменения климата становится как никогда прежде насущным делом.

237. Совместная программа ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам в продовольственной и сельскохозяйственной областях продолжает заниматься разработкой и аттестацией пакетов информационных материалов и технологий для содействия сокращению выбросов ПГ во всемирном масштабе. Такие пакеты помогут в деле укрепления продовольственной безопасности и улучшения условий жизни. Для получения максимального эффекта от них важно повышать осведомленность об этих технологиях и описанных выше методах, а также обеспечить широкое участие заинтересованных сторон (частного сектора, гражданского общества, международных организаций, научных и учебных учреждений) в решении проблем повышения продуктивности животноводства и снижения его удельного веса (фактического или потенциального) в производстве ПГ.

³⁵ GERBER et al., Tackling climate change through livestock — A global assessment of emissions and mitigation opportunities, FAO, Rome (2013).

Е. Цифровая визуализация и телерадиология: последние события, тенденции и проблемы

Е.1. Технологии и преимущества цифровой визуализации

238. Вплоть до конца прошлого столетия в подавляющем большинстве медицинских обследований, предполагавших визуализацию, в качестве средства фиксации, просмотра и хранения изображений использовалась пленка. Однако в 1970-х годах в сфере медицинской диагностической визуализации произошла цифровая революция, которая началась с изобретения компьютерного томографа (КТ) и создания современных аппаратов для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Вслед за созданием этих методов ядерной визуализации в 1980-х годах был разработан такой неядерный метод визуализации, как магнитно-резонансная визуализация (МРВ), а в 1990-х годах – изобретены цифровые системы получения рентгенографической информации (такие как компьютерная радиография и цифровая радиография). Современные методы медицинской визуализации, такие как КТ, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и МРВ, позволяют получить намного больший объем диагностической информации по сравнению с их предшественниками, что диктует необходимость действенного и эффективного управления этой информацией. В силу этой растущей необходимости стали широко внедряться технологии управления цифровыми изображениями, которые являются сегодня предпочтительным методом фиксации, просмотра и хранения изображений благодаря их способности сделать современные методы ядерной и неядерной визуализации более экономичными и доступными.

239. У систем цифровой фиксации, хранения и просмотра изначально есть ряд преимуществ перед альтернативными пленочными системами, которые и делают возможным получение таких выгод (таблица 1). Хотя первоначальная стоимость цифрового оборудования и выше по сравнению с обычными системами, в долгосрочной перспективе цифровая технология даст общую экономию средств за счет снижения текущих расходов, так как она не требует химикатов, пленки, обработки и хранения пленочных изображений. Несмотря на эти преимущества, внедрение полностью цифровых систем медицинской визуализации, включая протоколирование результатов, архивирование и рассылку изображений (рис. В-1), является достаточно сложным делом. Такие системы не представляют собой готового, универсального технического решения, поскольку они должны настраиваться под разную диагностическую деятельность и разных конечных пользователей, а для работы с ними требуется серьезная подготовка.

Таблица Е-1. Преимущества цифровой радиологии перед обычной пленочной радиологией³⁶

1	Эффективное распространение информации и лучший доступ к изображениям
2	Значительно лучший динамический диапазон систем цифровой съемки изображений для фиксации большего количества разнообразных анатомических структур на отдельных изображениях
3	Более высокая надежность, безошибочный поиск изображений без потерь диагностической информации
4	Простота использования
5	Потенциал для комплексной, комбинированной визуализации
6	Сохранение динамической диагностической информации в виде серии цифровых изображений
7	Одновременная передача и просмотр изображений во многих географических районах
8	Манипулирование с изображениями и их обработка, выделение и повышение четкости отдельных элементов
9	Простота взаимодействия между специалистами, например между радиологами и врачами, направившими пациента на обследование
10	Могут широко распространяться экспертные знания в узких областях диагностической визуализации
11	Авторизованные пользователи могут начать исследование сразу же после получения изображения
12	Имеется возможность установления последовательности и индивидуализации обследования, а также интегрирования диагностических данных
13	Устранение экологических проблем, связанных, например, с обработанной пленкой, химическими отходами

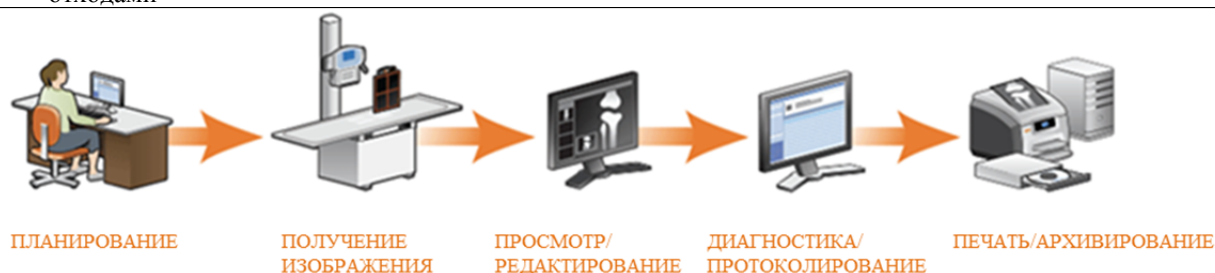


РИС. Е-1. Типичная последовательность действий в системе цифровой визуализации (источник: www.carestream.com).

Е.2. Переход от аналоговых систем к цифровым

Е.2.1. Общие проблемы

240. Несмотря на то что общий эффект от внедрения цифровой визуализации обычно весьма позитивен, переход от обычной радиологии (экран-пленка) к цифровой визуализации – это кардинальное изменение, осуществить которое необходимо эффективно. Традиционные пленочные методы использовались на протяжении столетия и отказаться от них будет нелегко. Кроме того, требуемые капитальные затраты, в том числе на развитие человеческого капитала, и необходимость перехода на цифровую технологию мгновенно создают проблемы для некоторых пользователей. Ключевую роль здесь играют стратегии коммуникации и понимание принципов управления изменениями³⁷. Это особенно сложная проблема, поскольку

³⁶ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Worldwide Implementation of Digital Imaging in Radiology, IAEA, Vienna (в стадии подготовки).

³⁷ AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY, AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, SOCIETY OF IMAGING INFORMATICS IN MEDICINE, ACR–AAPM–SIIM Technical Standard for Electronic Practice of Medical Imaging, Reston, VA, USA (2012).
<http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PGTS/standards/ElectronicPracticeMedImg.pdf>

требующийся для такого перехода объем времени и инвестиций широко варьируется и во многом зависит от обстоятельств, существовавших на момент начала этого процесса.

241. Хотя при помощи таких мер и можно свести к минимуму трудности, вызванные этими изменениями, во многих случаях будет иметь место период привыкания, в течение которого новая технология может вызывать замешательство, нарушать нормальный ход работы или вообще не давать результатов. Однако почти повсюду после окончания первоначального периода использования метода цифровой визуализации пользователи начинают признавать и ценить преимущества этого метода перед пленочным методом получения изображений.

Е.2.2. Внедрение и специфические проблемы для медицинского персонала

242. Сотрудники радиологических отделений (радиологи, рентгенологи, медицинские физики и вспомогательный персонал) должны входить в более широкую группу консультирующих сотрудников, которая служит источником экспертных знаний для проекта. Это даст всем сотрудникам радиологических отделений возможность делать свои замечания по обсуждаемым планам и чертежам и участвовать в работе над ними. Частью плана перехода на новую технологию должно быть планирование и организация необходимой новой подготовки, в том числе занятий по основам компьютерной грамотности. Поскольку максимальная скорость любого перехода определяется способностью персонала воспринять перемены, одним из важнейших компонентов проекта внедрения цифровой визуализации является программа текущей подготовки и повышения квалификации персонала.

243. Конечные пользователи услуг любого радиологического отделения – это врачи, направляющие пациентов на обследование. Отсутствие пленочных изображений может нарушить работу некоторых врачей, и поэтому внедрение цифровой визуализации может поначалу негативно сказаться на выполнении ими клинических функций. Врачей необходимо обучить использованию компьютерных систем для рассылки изображений, и они смогут давать ценные отзывы – как позитивные, так и негативные – относительно эффективности рассылки цифровых изображений за пределы радиологического отделения. На стадии планирования проекта следует уточнить, как будут обслуживаться существующие пользователи во время и после перехода на цифровую визуализацию. При планировании следует также определить, какие врачи и отделения будут предъявлять особые требования к службе медицинской визуализации (например, кардиологи и ортопеды). Важное значение имеет тесное взаимодействие между этими лицами и группой по внедрению цифровой визуализации. Чрезвычайно важно дать понять, что эта служба создается для того, чтобы они могли извлечь из нее максимальную выгоду как пользователи радиологических услуг.

244. Если в учреждении имеется собственный или местный отдел или секция информационных технологий (ИТ), эту группу необходимо своевременно привлечь к подготовке к переходу на цифровую визуализацию. Важно, однако, чтобы группа ИТ понимала, что предлагаемые ею решения должны соответствовать стандартам и методам, которые хорошо отработаны в общемировом масштабе теми, кто занимается цифровой визуализацией. Это может потребовать подготовки меморандума о взаимопонимании между руководящим комитетом проекта и группой ИТ в целях определения того, что необходимо для проекта. Если частью решения становится бесплатное программное обеспечение или имеющиеся на рынке аппаратные средства, местная группа ИТ должна подготовить эти компоненты задолго до намеченной установки оборудования для получения изображений.

Е.3. Телерадиология

245. Одним из главных преимуществ технологии цифровой визуализации является то, что благодаря телерадиологическим системам она позволяет выносить экспертное диагностическое заключение независимо от расстояния между местом, где было получено изображение, и местом, где находится эксперт. Телерадиологии можно дать множество определений, но в целом ее можно определить как передачу серии изображений в полном разрешении и без каких-либо потерь в центр, удаленный от того места, где эти изображения были получены, в целях первичной диагностической интерпретации и/или получения вторичной консультации у эксперта. Такие технологии уже широко используются в развитых странах, а в ряде развивающихся стран телерадиология также используется, но ее применение пока ограничено³⁸.

246. Телерадиология может использоваться локально (например, в стенах одного учреждения), для связи между корпусами общего комплекса или зданиями в одном городе либо между медицинскими учреждениями в любых точках планеты. Она создает альтернативу традиционным методам интерпретации изображений, требующим наличия в учреждении персонала, умеющего интерпретировать рентгеновские снимки. Телерадиология способна:

- улучшить доступ к медицинским специалистам для целей первичной или вторичной интерпретации;
- открыть доступ к протоколам исследований методом медицинской визуализации для центров с недостаточным уровнем обслуживания;
- стать подспорьем при консультировании больных и лечь в основу принимаемых решений об их лечении;
- открыть доступ к услугам по интерпретации изображений для удаленных районов;
- сдвинуть сроки составления протоколов таким образом, чтобы обеспечить оперативную интерпретацию изображений во внерабочее время;
- обеспечить сбалансированное распределение обязанностей по протоколированию результатов между центрами с разным количеством сотрудников в интересах оперативного оформления протоколов.

Е.3.1. Технологии

247. На нынешнем этапе эволюции телерадиология освоила современные технологии и предлагает новые формы их использования³⁹. При использовании совместно с системой архивирования и передачи изображений с удаленным доступом или с централизованным архивом телерадиология неотличима от любой другой формы удаленного доступа. Обычно для этого используются Интернет и веб-технология «тонкий клиент» (при которой компьютеру для полноценной работы требуется соединение с сервером). Дополнительные формы использования, ставшие возможными сегодня благодаря этим достижениям, включают работу по частичной или полной интерпретации на дому, равномерное распределение обязанностей по

³⁸ PAL, A., MBARIKA, V. W., COBB-PAYTON, F., DATTA, P., MCCOY, S., Telemedicine diffusion in a developing country: the case of India, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 9 (2005) 59-65; ZENNARO, F., et al., Digital Radiology to Improve the Quality of Care in Countries with Limited Resources: A Feasibility Study from Angola, PLoS One, 8 (2013).

³⁹ JOHNSON, N. D., Teleradiology 2010: technical and organizational issues, Pediatric Radiology, 40 (2010) 1052-1055.

интерпретации между разными точками, в том числе находящимися в разных часовых поясах, и передачу работы по срочной и/или окончательной интерпретации на субподряд третьим сторонам, которые могут обладать дополнительными экспертными знаниями.

248. С технической точки зрения передача любого изображения в большинство точек по всему миру трудностей не представляет, но действенные решения в области телерадиологии предполагают также надлежащую организацию рабочего процесса для эффективной обработки большого количества данных телерадиологических исследований. Изображения бывают самыми разными по размеру – от нескольких мегабайт до сотен мегабайт, – и передача больших серий изображений может оказаться чрезвычайно медленной и поэтому непрактичной. Таким образом, одним из важнейших компонентов телерадиологических систем является имеющаяся в наличии сеть; этот компонент требует надлежащего планирования и ресурсов, что может стать препятствием для внедрения данной технологии.

249. Тип сети будет зависеть от местных возможностей, а требуемая пропускная способность будет определяться размером и количеством передаваемых изображений. Однако расширение местных систем для предоставления удаленного доступа может быть ограничено техническими возможностями сети, особенно в сельской местности, а также в районах, где возникают проблемы защиты информации, особенно в силу необходимости обеспечить внешних пользователей сетевыми реквизитами и контролировать их доступ.

250. Телерадиологическое оборудование, в том числе все оборудование для получения изображений, должно отвечать соответствующим стандартам Международной организации по стандартизации для цифровой визуализации и коммуникации в медицине для связи с рабочими станциями, телекоммуникационными устройствами и устройствами для хранения изображений. У одних учреждений нет средств (или планов) установления связи с врачами, направляющими пациентов на обследование, или службами интерпретации телерадиологических данных, а другие могут использовать внутренние и внешние сети в рамках системы медицинской визуализации.

251. Наконец, поскольку сегодня то место, где генерируются клинические изображения, и то место, где они анализируются и протоколируются, могут быть значительно удалены друг от друга, важно, чтобы у обоих мест было ясное понимание и договоренность в отношении распределения обязанностей и правила, регулирующие права доступа, которым необходимо следовать для того, чтобы данные о пациенте оставались конфиденциальными.

Е.3.2. Примеры внедрения

252. Телерадиология отличается от передачи небольшого количества изображений невысокого качества, которые пересылаются главным образом для обсуждения или демонстрации. Примером последнего является использование немедицинских коммуникационных технологий, таких как мобильная телефония или электронная почта. У большинства используемых сегодня мобильных телефонов и других типов портативных компьютеров ограниченный объем памяти, скорость сетевого соединения и процессора, и поэтому они вряд ли могут использоваться для первичной диагностической интерпретации и протоколирования результатов. Однако эта ситуация быстро меняется, и можно ожидать, что в недалеком будущем такие устройства будут играть все более важную роль в пересылке и анализе медицинских изображений.

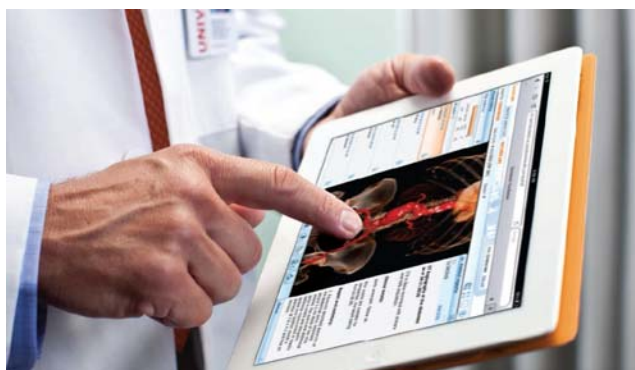


РИС. Е-2. Просмотр изображения КТ на планшетном компьютере (источник: www.carestream.com).

253. Один из самых распространенных примеров внедрения телерадиологии – это соединение периферийных больниц страны или региона с центральным учреждением. Это дает возможность сельским врачам, которые могут не иметь опыта интерпретации изображений, обращаться за помощью в деле первичной диагностической интерпретации к врачам-специалистам из более крупных, университетских или специализированных клиник. Это может делаться для получения более точного диагноза и назначения более эффективного лечения на месте либо, если потребуются, для выяснения необходимости перевода пациента в учреждение с более высоким уровнем обслуживания. Такие телерадиологические проекты приносят прямую пользу соответствующему больничному персоналу и, что еще важнее, пациентам, поскольку их изображения передаются на экспертную интерпретацию радиологу⁴⁰.

254. Скрининговая маммография доказала свою полезность как мощное средство для раннего обнаружения рака молочной железы. Как показал ряд исследований, частота обнаружения рака молочной железы возросла с введением в практику метода двойного анализа изображений (когда изображение изучается двумя экспертами для получения более верного диагноза) и с ростом общего опыта анализа изображений у экспертов⁴¹. В рамках организованной системы телерадиологии (телемаммографии) центры, участвующие в программе скрининга, получают большую пользу от независимого вторичного анализа маммограмм экспертами-радиологами в центральном отделении рака молочной железы (рис. Е-3). Благодаря большому количеству анализируемых изображений эти эксперты будут обладать серьезными навыками и большим опытом анализа маммограмм и смогут повысить эффективность программы скрининга.

⁴⁰ ZENNARO, F., et al., Digital Radiology to Improve the Quality of Care in Countries with Limited Resources: A Feasibility Study from Angola, PLoS One, 8 (2013).

⁴¹ LEADER, J. K., et al., A Multisite Tele mammography System for Remote Management of Screening Mammography: An Assessment of Technical, Operational, and Clinical Issues, Journal of Digital Imaging, 19 (2006) 216–225.



РИС. Е-3. Рабочая станция цифровой маммографии (источник: www.healthcare.siemens.co.uk).

Е.4. Выводы

255. С учетом преимуществ и возможностей цифровой визуализации в мире наблюдается все более активный переход от исследований с использованием пленки к цифровым системам получения, обработки и просмотра, которые могут повысить эффективность и доступность важных ядерных и неядерных методов визуализации. Сегодня этот переход более заметен в развитых странах, но развивающиеся страны также начинают получать от этого выгоды, которые могут еще более возрасти за счет более широкого внедрения цифровых технологий в радиологических исследованиях.

256. Телерадиология может стать практичным и эффективным методом в условиях неравномерного географического распределения и нехватки на местах специалистов по визуализации. Растущая роль технологий может частично компенсировать нехватку персонала, но вместе с тем сотрудникам потребуется взять на себя новые функции по техническому обслуживанию инфраструктуры. Перед развивающимися странами стоит задача поиска методологии, соответствующей их нуждам и обстоятельствам, для эффективного перехода от обработки и хранения обычных пленочных изображений к цифровым системам получения и просмотра снимков.

Г. Радиационные технологии для очистки сточных вод и обработки твердых веществ биологического происхождения: решения для охраны окружающей среды

Г.1. Роль радиационных технологий в охране окружающей среды

257. Продолжающаяся по всему миру урбанизация и индустриализация общества является одним из главных факторов загрязнения уже истощенных запасов пресной воды и образования огромного количества осадка коммунально-бытовых сточных вод. Появление в сточных водах и их осадке органических загрязнителей, таких как фармацевтические препараты, текстильные красители, инсектициды и эндокринные разрушители, усугубило проблему, поскольку наличие таких химических веществ (даже в следовых количествах) может оказать сильное воздействие на водную флору и фауну, обитающих на суше животных и людей. Очистка городских и промышленных сточных вод и их осадка помогает сохранить водные ресурсы и улучшить состояние почвы.

258. Постоянное развитие технологии очистки сточных вод и все более жесткие требования в отношении сброса сточных вод гарантируют, что большинство очищенных сточных вод безопасны для сброса. Однако одной лишь очистки для повторного использования воды или осадка недостаточно и поэтому необходимо изучить альтернативные применения. Радиационные методы с использованием гамма-излучения и электронно-лучевых технологий успешно применяются для демонстрации очистки сточных вод от промышленных текстильных красителей и санитарной обработки осадка сточных вод для использования в сельском хозяйстве.

259. Полномасштабное использование радиационной технологии для обработки различных органических загрязнителей пока не налажено, однако ее полезность и эффективность уже были продемонстрированы в работах различных масштабов, и данная технология обладает большим потенциалом в решении возникающих проблем, касающихся очистки сточных вод и осадка. Поскольку промышленные стоки и отходы, как правило, не смешиваются и требуют обработки непосредственно у источника, такие технологии могут быть адаптированы для различных потребностей в области обработки отходов.

Г.2. Актуальные проблемы в области очистки сточных вод и их осадка для повторного использования

260. По мере обострения дефицита водных ресурсов во всем мире увеличивается интерес к их повторному использованию. В то же время все большую озабоченность вызывает потенциальное микробиологическое и химическое загрязнение воды, особенно новыми микрозагрязнителями. Поэтому для успешного осуществления проектов повторного использования водных ресурсов крайне необходима разработка экономически эффективных и надежных технологий восстановления качества воды.

261. В настоящее время испытываются передовые технологии очистки (например, радиационные технологии отдельно или в сочетании с традиционными процессами), позволяющие получать высококачественную воду для непрямого повторного использования для питья, т. е. оборотную воду, которая проходит сначала специальную обработку, а затем обычную для питьевой воды очистку. Предполагается, что такие технологии в ближайшее время займут главное место в области очистки воды.

262. Набирающая силу тенденция к ужесточению норм сброса сточных вод благотворно сказывается на состоянии окружающей среды, однако применение этих норм приводит к образованию большего количества осадка сточных вод. В настоящее время имеется ряд различных возможностей удаления этого осадка, включая его сжигание, удаление на полигоны для захоронения отходов или использование в качестве удобрения или питательного вещества для почвы, однако состав осадка может накладывать ряд ограничений.

263. В будущем сооружения для очистки сточных вод станут, как ожидается, установками по рекуперации дорогостоящих ресурсов, а не просто местами для очистки и последующего удаления коммунально-бытовых отходов. Однако же, чтобы эти ожидания стали реальностью, важно определить экономически эффективные технологии дезинфекции и стабилизации коммунально-бытовых твердых биологических веществ. Поэтому сейчас уделяется пристальное внимание производству высококачественных твердых биологических веществ, которые не представляют опасности для здоровья человека и окружающей среды и могут быть с выгодой использованы.

Ф.3. Применение радиационной технологии для обработки сточных вод и их осадка в настоящее время

Ф.3.1. Электронно-лучевая очистка сточных вод от окрашивания тканей

264. На отрасль по производству текстильных красителей и окрашиванию тканей приходится примерно 20% от общемирового объема промышленного загрязнения воды. Каждый год в мире производится более 700 млн тонн красителей, а технологии окрашивания тканей требуют чрезвычайно больших объемов воды – приблизительно 80 000 м³ на каждую тонну готовой продукции. Обработанные сточные воды, сбрасываемые такими предприятиями, имеют высокую химическую потребность в кислороде, что указывает на высокие концентрации органических загрязнителей и низкую биоразлагаемость в связи с соленостью и присутствием широкого спектра химических веществ.

265. Обычная технология биологической очистки сточных вод от окрашивания тканей не только требует продолжительного времени, но и – в силу сложной химической структуры синтетических красителей – не способна обеспечить их разложение. Было доказано, что электроны высокой энергии из электронных пучковых (ЭП) ускорителей могут эффективно разлагать эти комплексные красители на более простые молекулы, что облегчает их последующее биоразложение. Этот процесс легко интегрируется с существующим процессом биологической обработки. Было продемонстрировано, что присутствие до 3% твердых частиц (твердой основы красителя) не оказывает негативного влияния на разрушение химических веществ. Растворы, которые содержат соединения, охотно поглощающие свет, не снижают эффективности процесса и не требуют использования дополнительных химических веществ. Достижимый уровень разложения делает получившиеся продукты восприимчивыми к последующим процессам биологической обработки, что сводит к минимуму расходы на обработку. Было продемонстрировано, что ускорители мощностью до 400 кВт обладают высочайшей надежностью, защищенностью и показателями эксплуатационной готовности более 99%. Ускорители полностью автоматизированы, пригодны для эксплуатации на месте производства или за его пределами, и срок их службы превышает 30 лет.

266. ЭП-установка в промышленном красильном комплексе в г. Дэгу, Республика Корея, продемонстрировала эффективность технологии ЭП при обработке до 10 000 м³ сточных вод от окрашивания текстиля в день при дозе 1 килотрей (кГр) и себестоимости 0,30 долл. на м³.⁴² Стоимость такого ускорителя высокой мощности составляет примерно 2 млн долл. (стоимость самого устройства и работ по его установке), при этом расходы на прокладку труб, установку другого оборудования и строительные работы составляют еще около 1 млн долл. В настоящее время это единственная в мире установка такого рода, и заявленные первоначальные расходы являются препятствием для создания дополнительных установок. Рост расходов на выполнение природоохранных правил и осуществление восстановительных мероприятий в некоторых странах вынуждает многие компании переносить свои предприятия по окрашиванию текстиля в страны с менее строгим природоохранным законодательством; это подчеркивает необходимость увеличивать потенциал и рентабельность таких технологий, чтобы содействовать их внедрению.

⁴² HAN Bumsoo, et al., Operation of industrial-scale electron beam wastewater treatment plant, Radiation Physics and Chemistry, 81 (2012) 1475–1478.



РИС. F-1. Обработка сточных вод с использованием электронного пучкового ускорителя (фото: «ЭБ-Тех», Республика Корея).

Г.3.2. Обработка осадка сточных вод с использованием высокоэнергетического излучения

267. Высокоэнергетическое излучение – это эффективный и действенный метод обезвреживания патогенных бактерий, и во всем мире эта технология уже используется в крупных масштабах для стерилизации медицинского оборудования. На основе аналогичной концепции во многих странах изучается вопрос об использовании радиационной технологии для дезинфекции осадка сточных вод. Было установлено, что обеззараженный осадок сточных вод является эффективным носителем полезных бактерий, таких как *Rhizobium*, которые помогают удерживать азот в почве, и в ходе крупномасштабных испытаний было продемонстрировано, что такой осадок является отличным удобрением⁴³. Поэтому твердые вещества биологического происхождения могут стать заменой менее безопасным с экологической точки зрения химическим удобрениям.

268. Успешная работа исследовательского облучателя для гигиенизации осадка сточных вод (ИОГО) в Вадодаре, Индия, не прерывающаяся с 1992 года, показала, что облучение осадка сточных вод гамма-излучением с использованием кобальта-60 при содержании твердых веществ приблизительно 5% и дозе 3 кГр может обезвредить 99,99% болезнетворных бактерий. Эта технология легко внедряется на существующих предприятиях по обработке сточных вод. Кроме того, органические удобрения, являющиеся побочным продуктом эксплуатации установки ИОГО, эффективно используются земледельцами и садоводами, которые добиваются более высоких урожаев. Вместе с тем, распространение этой потенциально полезной технологии сдерживается высокой пропускной способностью, необходимой для процесса обработки, и потребностью в периодическом пополнении весьма большими количествами кобальта-60.

⁴³ GAUTAM S., et al., Gamma irradiation of municipal sludge for safe disposal and agricultural use, *Water Environment Research*, 77 (2005) 472–479.

269. В последние годы было продемонстрировано, что технология высокоэнергетического электронного пучка весьма эффективна в качестве технологии дезинфекции и позволяет серьезно сокращать количество бактериальных и вирусных патогенов, на которые оказывается воздействие. Результаты показывают, что дозы от 8 до 15 кГр уничтожают значительное число бактериальных, вирусных и простейших патогенов. Были разработаны, смоделированы и эмпирически подтверждены технические спецификации высокоэнергетической очистной ЭП-системы, способной обеспечивать требуемые дозы. Моделирование методом Монте-Карло (автоматизированный математический метод учета риска в количественном анализе и принятии решений) и эмпирические испытания подтвердили, что имеется техническая возможность и экономическая целесообразность доставки единообразных доз ЭП в потоки твердых веществ биологического происхождения с различными концентрациями твердых веществ и качеством воды в объеме примерно $1500 \text{ м}^3/\text{сут}^{44}$. Помимо технической осуществимости, предварительный анализ расходов показывает, что высокоэнергетическая дезинфекция на основе ЭП может иметь высочайшую экономическую эффективность по сравнению с некоторыми современными методами обработки, такими как разложение термофильными бактериями при термической сушке, компостирование и стабилизация известью.

270. Кроме того, была достигнута синергическая дезинфекция патогенов, когда облучение ЭП применялось вместе с химическими окислителями, такими как диоксид хлора и феррат. Было установлено, что сочетание облучения ЭП и обработки ферратом эффективно ликвидирует микробные патогены, уничтожает эстрогенную активность и стабилизирует твердые вещества биологического происхождения. Стоимость производства одной тонны высококачественных твердых веществ биологического происхождения (сухая масса) с использованием ЭП-облучателя и феррата составляет 70 долл., что значительно меньше, чем при использовании других современных технологий. Дезинфекция и стабилизация коммунально-бытовых твердых биологических отходов за счет параллельного применения ЭП-облучения и химических окислителей открывает ряд возможностей для повторного использования твердых веществ биологического происхождения и восстановления ресурсов.

Г.4. Радиационные технологии для изучения новых загрязнителей воды

271. В области очистки воды растет озабоченность по поводу химических веществ, известных как эндокринные разрушители (химические вещества, которые могут вызывать заболевания эндокринной системы), а также средств личной гигиены и фармацевтических препаратов, которые не поддаются полному удалению или уничтожению с использованием обычных процессов очистки. Следовые количества этих химических веществ, которые представляют опасность для обитающих в воде животных в концентрации 1 нг/дм^3 , с трудом поддаются очистке при использовании существующих методов. Кроме того, их концентрация в пресноводной среде, в которую, как правило, поступают сбрасываемые сточные воды, постепенно увеличивается в связи с ростом населения и глобальной диверсификацией используемых фармацевтических препаратов.

272. Такие соединения можно обрабатывать с помощью новых методов с использованием усовершенствованных процессов окисления с участием свободных радикалов. Сообщается, что методы с использованием ионизирующего излучения продемонстрировали эффективность при разложении стойких органических загрязнителей, таких как диоксин, полихлорированные

⁴⁴ PILLAI S., Texas A&M AgriLife Research, Personal communication (2013).

дифенилы и эндокринные разрушители⁴⁵. Было продемонстрировано, что гамма-облучение разлагает эндокринные разрушители и продукты их облучения в сточных водах при дозе 200 Гр. Ориентировочная стоимость использования для этой цели ЭП-облучателя на очистной установке составляет 0,17 долл./м³. Эксперименты, проведенные на фармацевтических препаратах, также показали, что препараты, такие как диклофенак, оказывающие вредное воздействие на пресноводные виды, могут быть эффективно удалены из воды с помощью технологии облучения⁴⁶.

273. В 2010 году Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии (КАЭРИ) разработал передвижной ЭП-ускоритель, который используется для проведения полевых исследований и обработки многих таких химических веществ, содержащихся в очищенных сточных водах. Основные антибиотики и эндокринные разрушители, присутствующие в исходных концентрациях 0,5 мг/л, полностью разлагаются при дозе облучения менее 1,5 кГр; колиформные бактерии и другие микроорганизмы также ликвидируются при той же дозе облучения. Исследование показало, что под воздействием облучения сократилась токсичность, обусловленная содержанием антибиотиков в водорослях. Передвижной ЭП-ускоритель разработан в качестве демонстрационного устройства, которое можно легко транспортировать на различные промышленные объекты, чтобы продемонстрировать потенциал ЭП-ускорителей в области экономически эффективной очистки различных видов сточных вод с целью содействия дальнейшему внедрению этой технологии. Результаты, полученные в рамках данного исследования, стали важным подспорьем в получении от министерства окружающей среды Кореи сертификата на новую образцовую технологию усовершенствованной радиационной обработки очищенных сточных вод⁴⁷.



РИС. F-2. Передвижной электронный пучковый ускоритель, установленный на очистной станции (фото: КАЭРИ).

⁴⁵ KIMURA A., et al., Decomposition of persistent pharmaceuticals in wastewater by ionizing radiation, Radiation Physics and Chemistry, 81 (2012) 1508–1512 and references therein.

⁴⁶ HOMLOK R., et al., Elimination of diclofenac from water using irradiation technology, Chemosphere, 85 (2011) 603–8.

⁴⁷ LEE M.J., et al., “Radiation induced decomposition of emerging organic pollutants in sewage effluent and PCBs in various matrices”, документ, представленный на Техническом совещании по радиационной обработке загрязнителей, сточных вод и шлама, 4–8 марта 2013 года, МАГАТЭ, Вена.

Г.5. Будущие исследования: потребности и задачи

274. Процессы, связанные с применением радиационных технологий для очистки сточных вод, их осадка и обработки других загрязняющих веществ, достаточно хорошо изучены и проработаны, однако возникающие проблемы, которые могут повлиять на эту отрасль в ближайшие годы, и потенциальные выгоды от использования новых технологий для решения этих проблем, позволяют предположить, что необходима дальнейшая работа по совершенствованию этих технологий. Эти новые проблемы представляют собой будущие возможности для поддержки более широкого применения радиационных технологий в промышленности в целях восстановления окружающей среды.

275. Одной из таких проблем является наличие вызывающих беспокойство новых химических веществ в сточных водах и их осадках, что требует проведения всестороннего и единообразного анализа на сооружениях по очистке коммунально-бытовых сточных вод. Такой анализ необходимо провести, чтобы понять, насколько велики концентрации токсичных органических соединений в сточных водах и их осадках и представляют ли они опасность для здоровья человека и животных и для окружающей среды, а также чтобы затем оценить и обеспечить эффективность применения облучения при очистке сточных вод.

276. Облучение третичных стоков для обеспечения максимального качества очищенных стоков перед сбросом в окружающую среду представляет собой еще одну проблему: необходимы эмпирические данные об уровнях дезинфекции после обработки больших объемов сточных вод с использованием ЭП-ускорителей. Кроме того, наличие передвижных ЭП-ускорителей открывает новые возможности получения чистой, дезинфицированной воды для непитьевых целей в случае стихийных бедствий или аналогичных чрезвычайных ситуаций, которые могут повлиять на водоснабжение, однако для такого применения необходимы дальнейшие исследования. Это может быть особенно актуально в контексте увеличения частоты и тяжести последствий стихийных бедствий, связанных с изменением климата.

Г.6. Выводы

277. Использование радиационных методов для очистки сточных вод и их осадков открывает возможности удовлетворения разнообразных потребностей и решения проблем в области охраны окружающей среды, здоровья населения и ресурсов. Их эффективность была успешно продемонстрирована при очистке сточных вод от промышленных текстильных красителей и санитарной обработке осадка сточных вод, что обеспечивает дополнительные ресурсы для использования в сельском хозяйстве. Недавние исследования продемонстрировали потенциал обусловленного излучением разложения вызывающих озабоченность новых органических соединений и их преобразования в менее вредные вещества или уменьшения их концентрации до допустимых пределов. Полезность и эффективность радиационной технологии для обработки различных органических загрязнителей была надлежащим образом доказана в работах различных масштабов.

278. Разработка передвижных ЭП-ускорителей позволила продемонстрировать конечным пользователям процессы на основе радиационных технологий в реальных рабочих условиях; передвижные установки могут также использоваться при реагировании на стихийные бедствия и другие чрезвычайные ситуации. Кроме того, описанные выше и аналогичные им методы потенциально позволяют обеспечить повторное использование очищенных сточных вод для полива в городах и в промышленности, что может способствовать реагированию на растущий глобальный дефицит воды в связи с ростом спроса со стороны населения и изменением климата. Дальнейшие исследования и разработка радиационных технологий позволят подтвердить их большое значение для человечества.

G. Изучение вредоносного цветения водорослей в меняющейся морской среде

G.1. Использование ядерных технологий для отслеживания морских биотоксинов в морепродуктах и окружающей среде

G.1.1. Воздействие образующихся в результате вредоносного цветения водорослей токсинов на торговлю морепродуктами

279. Морские продукты животного происхождения имеют важное значение для многих развивающихся стран как источник животного белка и предмет торговли. Мировой спрос на морепродукты растет, при этом увеличивается объем импорта и местного производства. В связи с отсутствием увеличения рыбного промысла разведение и выращивание морепродуктов в искусственных условиях (в аквакультуре) составляет в настоящее время 55% мировой торговли морепродуктами. Морепродукты являются наиболее широко продаваемыми пищевыми продуктами в международном масштабе, а объем экспорта морепродуктов из развивающихся стран превышает объемы экспорта кофе, какао, чая, табака, мяса и риса, вместе взятые⁴⁸. Кроме того, на развивающиеся страны приходится около 50% мирового экспорта морепродуктов⁴⁹.

280. Способность экспортеров приспособиться к регулирующим требованиям импортирующих стран стала основным тормозом к доступу в сектор рыболовств⁵⁰. Импорт таких морепродуктов, как устрицы, двустворчатые моллюски, морские гребешки и мидии следует маркировать, отслеживать и официально сертифицировать на предмет качества и безопасности. Местные регулирующие органы во многих странах обращают особое внимание на установление и введение регулирующих пределов и критериев в отношении морских биотоксинов.

281. Морские биотоксины образуются в результате воздействия морских микроскопических водорослей, которые в определенных условиях могут расцвести и достичь высокой плотности, сформировав процесс вредоносного цветения водорослей (ВЦВ), также называемый «красным приливом». Питаясь этими водорослями, рыба и моллюски могут накапливать эти биотоксины и стать опасными для потребления человеком. Таким образом морепродукты могут становиться смертельными для человека даже в том случае, когда вода явно чистая и не имеет признаков ВЦВ. Токсичные и нетоксичные морепродукты обладают одинаковым вкусом, имеют одинаковый вид, и токсины ВЦВ не уничтожаются при готовке или заморозке.

282. Токсины ВЦВ приносят огромный экономический ущерб отрасли по добыче и переработке моллюсков, поскольку предприятия, где выращивают этих моллюсков, приходится закрывать, если уровни токсинов превышают предписанные регулирующими органами уровни. Когда программы регулирования токсинов не существует, отсутствие контроля представляет собой риск для потребителей и препятствие в отношении экспорта. Вспышки повышения токсичности могут также вызывать тревогу в обществе (в том числе отказ широкого числа

⁴⁸ ФАО, Продовольственный прогноз: публикуемый два раза в год анализ состояния мировых рынков продовольственных товаров, ФАО, Рим (2013).

⁴⁹ TACON A.G.J., METIAN M., Fish Matters: Importance of Aquatic Foods in Human Nutrition and Global Food Supply, Reviews in Fisheries Science, 21 (2013) 22–38.

⁵⁰ ФАО, Продовольственный прогноз: публикуемый два раза в год анализ состояния мировых рынков продовольственных товаров, ФАО, Рим (2013).

потребителей от употребления всех морепродуктов), негативно влияют на индустрию туризма и в ущерб местным рыбоводческим хозяйствам способствуют импорту из контролируемых зон. Для выявления и измерения степени токсичности ВЦВ в морепродуктах могут использоваться ядерные методы, с помощью которых можно также изучать воздействие экологических и климатических изменений на доминирование организмов, зараженных ВЦВ, модели их распространения и вероятную частоту новых вспышек токсичности в будущем.

283. После получения от государств-членов запросов о рассмотрении воздействия ВЦВ МАГАТЭ в рамках своей Программы технического сотрудничества стало развивать и укреплять национальные и региональные мощности и возможности в плане обнаружения токсинов водорослей и управления процессом ВЦВ с целью содействия устойчивой и безопасной торговле морепродуктами.



РИС. G-1. Токсины ВЦВ могут накапливаться в съедобных морских организмах, например, в мидиях или рыбе. Морепродукты для продажи в Чили (слева) и рыбный рынок в Полинезии (справа).

G.1.2. Новый проверенный ядерный метод анализа токсинов в водорослях

284. Ядерный метод рецепторсвязывающего анализа (РСА) является специальным и чувствительным методом, разработанным для анализа токсинов водорослей, которые вызывают паралитическое отравление моллюсками (ПОМ), диарейное отравление моллюсками (ДОМ), нейротоксичное отравление моллюсками (НОМ) и пищевое отравление рыбой - сигуатеру⁵¹. РСА основывается на способности содержащихся в пробах токсинов конкурировать с биотоксином, меченным радиоизотопом тритий-3 (например, сакситоксин, меченный тритием-3, или бреветоксин, меченный тритием-3) для связывания с их фармакологическими белок-мишенями (т.е. рецепторами). Количественно определить степень связывания можно с помощью жидкостного сцинтилляционного счетчика, который измеряет бета-излучение радиоизотопов либо в традиционных стеклянных сосудах, либо с использованием считывающего устройства для микропланшетов.

⁵¹ IAEA, The Radioligand-Receptor Binding Assay: A manual of method, IAEA, Vienna (в процессе подготовки); BOTTEIN DECHRAOUI M.Y., TIEDEKEN J., PERSAD R., et al., Use of two detection methods to discriminate ciguatoxins from brevetoxins: application to great barracuda from Florida Keys, Toxicon, 46 (2005) 261–70.).

285. Метод РСА является ключевым связанным с ядерными технологиями применением, с помощью которого можно решить проблемы, присущие обычному широко используемому методу определения токсинов - биотестам на мышах. С помощью РСА обеспечивается оценка общей токсичности пробы, которая весьма специфична и имеет очень низкий предел обнаружения, что позволяет передавать регулирующим органам и производителям важную оперативную предупреждающую информацию о ВЦВ.

286. Высокая производительность РСА в формате микропланшетов (см. рис. G-2) сводит к минимуму использование реагентов и образование радиоактивных отходов. Используемый для этого метода радиоактивный материал содержится в освобожденных от регулирующего контроля количествах (например, активность меченного радиоизотопом тритий-3 токсина составляет примерно 5-37 кБк на планшет) и считается безопасным для перевозки, программ радиационной защиты лабораторий и утилизации отходов. Инструкции по применению РСА легко выполнимы, и процедуры подробно описаны в техническом документе МАГАТЭ IAEA-TECDOC-1729⁵². Этот документ был составлен в сотрудничестве с Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (НОАА) Соединенных Штатов Америки и Межправительственной океанографической Комиссией (МОК) ЮНЕСКО в качестве дополнения к изданию Серии руководств и пособий МОК № 59 по ВЦВ⁵³.

287. С помощью Агентства НОАА представило этот метод компании «ОАОК Интернэшнл», которая устанавливает мировые стандарты в области химического анализа. РСА в настоящее время признан в качестве официального метода ОАОК для измерений ПОМ в моллюсках⁵⁴. Девять лабораторий из 7 государств-членов (Австралия, Италия, Новая Зеландия, Соединенные Штаты Америки, Таиланд, Филиппины и Чили), включая Филиппинский институт ядерных исследований, который является центром сотрудничества с МАГАТЭ, приняли участие в мероприятиях по межлабораторным сравнениям, что и привело к признанию этого метода. Наряду с этим достижением со стороны Агентства и его государств-членов предпринимаются усилия по разработке аналогичных межлабораторных мероприятий в отношении других токсинов, которые вызывают ДОМ, НОМ и сигуатеру и которые можно эффективно и результативно обнаружить с помощью метода РСА.

288. На национальном и международном уровнях осуществляются дальнейшие действия с целью продвижения использования РСА регулирующими органами. Например, метод РСА был представлен Комитету по рассмотрению лабораторных методов на Межштатной конференции США по санитарному контролю моллюсков, которая содействует санитарному контролю моллюсков путем сотрудничества штатных и федеральных служб контроля, отрасли по добыче и переработке моллюсков и учеными кругами. В настоящее время он рассматривается в качестве утвержденного метода ограниченного использования в рамках Национальной программы по вопросам санитарного контроля моллюсков Соединенных Штатов Америки. Кроме того, после рекомендации Консультативного комитета МАГАТЭ по ВЦВ в отношении межрегионального проекта технического сотрудничества INT7017 рассматривается вопрос об аттестационных испытаниях этого метода согласно регулирующим положениям Европейского Союза в Эталонной лаборатории морских биотоксинов Европейского Союза.

⁵² IAEA, The Radioligand-Receptor Binding Assay: A manual of method, IAEA, Vienna (в процессе подготовки).

⁵³ REGUERA B, ALONSO R, MOREIRA A, MENDEZ S. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas, Intergovernmental Oceanographic Commission (2011).

⁵⁴ VAN DOLAH F.M., FIRE S.E., LEIGHFIELD T.A., MIKULSKI C.M., DOUCETTE G.J., Determination of paralytic shellfish toxins in shellfish by receptor binding assay: collaborative study, Journal of AOAC International, 95 (2012) 795–812.

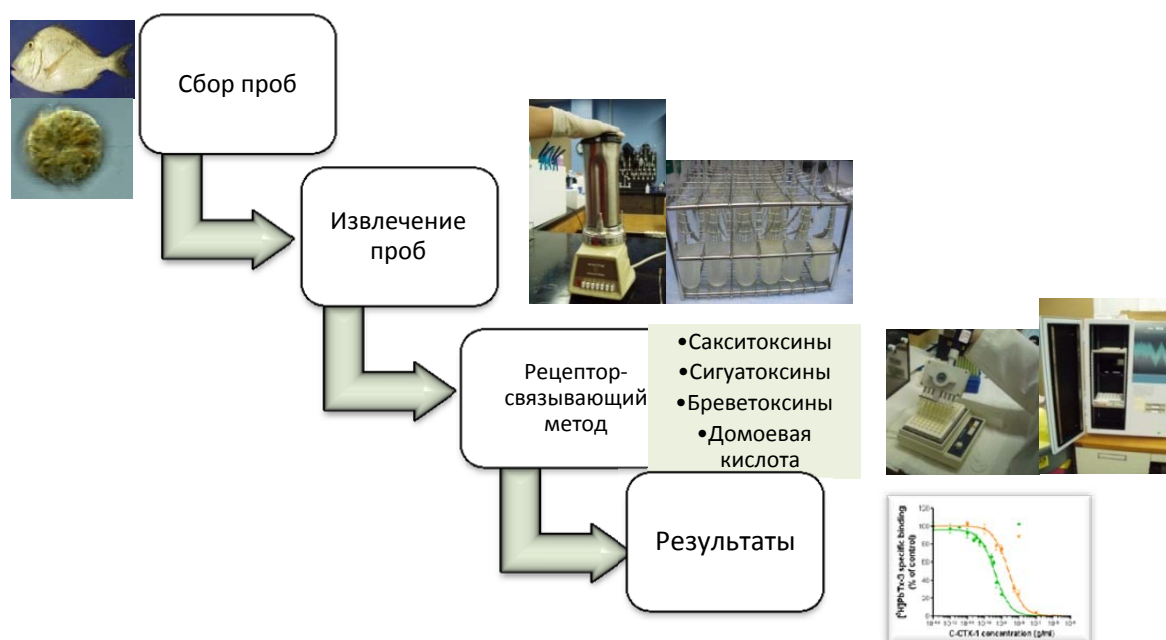


РИС. G-2. Пробы морепродуктов должны проходить химическую процедуру извлечения и проверки на уровень токсинов с использованием рецепторсвязывающего метода (из доклада Регера и др., 2013, и изменено)⁵⁵.

G.2. Ядерные технологии для изучения вредоносного цветения водорослей в связи с прошлыми и нынешними экологическими и климатическими изменениями

289. Рост, токсичность и географическое распределение организмов, зараженных ВЦВ, зависят от локальных и глобальных климатических и экологических изменений. Перенасыщение питательными веществами прибрежных и внутренних вод, также известное как «эвтрофикация», является прямым последствием производства продовольствия и энергии для растущего населения нашей планеты, что сопровождается образованием отходов и сточных вод. Атмосферное загрязнение азотом (в форме окисей азота в кислотных дождях) также является одним из источников перенасыщения питательными веществами.

290. Перегрузка органическими питательными веществами и/или изменения соотношения питательных веществ в морских экосистемах часто приводит к повышению биомассы водорослей в водоемах и находится во взаимосвязи с обширным цветением цианобактерий (сине-зеленых водорослей) и динофлагеллятов⁵⁶. Эвтрофикация в настоящее время считается

⁵⁵ REGUERA B., BOISSON F., DARIUS H.T., DECHRAOUI BOTTEIN M.Y. "Toxic microalgal blooms: What can nuclear techniques provide for their management?", *Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies: Proceedings of the International Symposium Held in Monaco, 27 March–1 April 2011*, IAEA, Vienna (2011) 483–91.

⁵⁶ ANDERSON D.M., GLIBERT P.M., BURKHOLDER J.M., *Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences*, *Estuaries and Coasts*, 25 (2002) 704–26.

одной из наиболее крупных проблем глобального загрязнения⁵⁷. В этом контексте для улучшения понимания процессов углеродного и азотного циклов можно использовать радионуклиды и стабильные изотопы, а в более общем смысле, процесса влияния антропогенной деятельности в местах, где появляется ВЦВ.

291. Некоторые из наиболее опасных производящих токсины динофлагеллятов (например, *Gymnodinium* и *Pyrodinium*) могут вызывать образование цист, которые оседают в морских отложениях; у них наступает фаза покоя, во время которой они могут окаменеть. Ядерные методы могут использоваться с целью извлечения ценной информации из колонок донных отложений, содержащих такие окаменелости, для изучения воздействия экологических и климатических изменений на доминирование и распространение организмов, зараженных ВЦВ. Эти методы включают применение свинца-210/полония-210 для определения скорости и возраста седиментации. Возможна также реконструкция палеоклиматических условий с использованием в этом случае изотопных отношений стабильных изотопов в качестве индикаторов, что позволяет лучше понять существующие условия окружающей среды во время образования цист.

292. Инструментальные средства с применением стабильных изотопов включают, например, определение отношений углерода-12/углерода-13, кислорода-16/кислорода-18 или азота-14/азота-15. Последнее изотопное отношение часто используется для регистрации изменений уровней продуктивности и питательных веществ в водяном столбе и для происхождения соединений азота. Связь между этими факторами и образованием и распространением цист в отложениях способствует пониманию роли абиотических параметров в распространении ВЦВ.

293. Эти виды наборов данных достаточно редки, но они необходимы для определения того, переместились ли недавно зараженные ВЦВ организмы на новые участки водоемов и возрастает ли частотность, интенсивность и географическая распространенность ВЦВ, или же эти организмы находятся в рамках обычных декадных колебаний. Эта информация важна для понимания прогнозирования изменений в поведении ВЦВ, использования соответствующих аналитических средств для эффективного и результативного обнаружения токсинов на ранней стадии, а также для адаптации стратегий управления экосистемными услугами и безопасностью морепродуктов.

294. За последнее десятилетие проблемы изменения климата и эвтрофикации усугубились также в результате растущей токсичности ВЦВ в пресноводных водоемах, в том числе в озерах и устьях рек. Водоросли по своей природе присутствуют в пресноводных водоемах, где в благоприятных условиях они могут размножаться так же быстро, как их морские сородичи. Среди пресноводных видов водорослей, обитающих в озерах и устьях рек, цианобактерии вырабатывают мощные токсины, которые создают угрозу водным организмам, здоровью экосистемы и безопасности питьевой воды для людей и сельскохозяйственных животных. Известно, что такие токсины в свое время одновременно уничтожили сотни сельскохозяйственных животных. Род цианобактерий, который вырабатывает сакситоксин, наблюдается во многих озерах по всему миру, и низкие уровни этого токсина были обнаружены в водозаборах водоочистных предприятий Новой Зеландии и на всех стадиях процесса водоочистки⁵⁸. Как и в случае токсинов ВЦВ в морской среде, РСА является

⁵⁷ HOWARTH R.W., RAMAKRISHNA K., CHOI E., et al., "Nutrient Management, Responses Assessment", Ecosystems and Human Well-being, Island Press, Washington, DC (2005) 295–311.

⁵⁸ KOUZMINOV A., RUCK J., WOOD S.A., New Zealand risk management approach for toxic cyanobacteria in drinking water, Australian and New Zealand Journal of Public Health, 31 (2007) 275–81.

перспективным инструментальным средством, которое можно легко приспособить для мониторинга токсинов ВЦВ в пресноводных водоемах. Это потенциальная будущая область применения РСА.



РИС. G-3. Обитающие на суше и в воде животные, отравленные пресноводным ВЦВ (фото: Океанографический институт в Вудс-Хоуле, США).

G.3. Выводы

295. Ожидается, что серьезность воздействия ВЦВ на морские экосистемы и жизненно важные источники продовольствия, обеспечиваемые этими экосистемами, в будущем возрастет. Это воздействие будет особенно ощутимо в развивающихся странах и затронет ряд малых островных развивающихся государств, которые сильно зависят от морепродуктов, поскольку они являются для этих стран главным источником белка. Ядерные методы, такие, как РСА, являются апробированными инструментальными средствами для эффективного мониторинга содержащихся в морепродуктах водорослевых токсинов и окружающей среды, а также для углубления знаний о воздействии климатической изменчивости на ВЦВ и морскую экосистему.

296. Для решения этой крупной экологической проблемы трансграничного характера, затрагивающей окружающую среду, здоровье населения и социально-экономическое благосостояние, необходимы региональные и межрегиональные подходы и укрепление межнационального сотрудничества в целях повышения эффективности управления ВЦВ в контексте глобальных климатических и экологических изменений. МАГАТЭ совместно с МОК и ЮНЕП в рамках Глобального партнерства по регулированию концентрации питательных веществ Программы МОК по глобальной экологии и океанографии вредоносного цветения водорослей, а также с Межправительственной группой МОК по вредоносному цветению водорослей осуществляет деятельность по разработке системы раннего предупреждения и улучшению прогнозов и оценок воздействия экологических и глобальных изменений на ВЦВ. Все эти меры необходимы для обеспечения устойчивого управления экосистемными услугами и безопасностью морепродуктов.

297. В ответ на растущую заинтересованность государств-членов в ослаблении воздействия ВЦВ и управлении им Агентство расширило и ускорило свою деятельность по решению проблем воздействия ВЦВ на окружающую среду и безопасность морепродуктов. Технология метода РСА и соответствующие экспертные знания были переданы нескольким государствам-членам из регионов Латинской Америки, Азии и Тихого океана и Африки, и в ближайшие годы эти усилия будут и далее укрепляться.