

# Генеральная конференция

GC(53)/INF/3

Date: 4 August 2009

**General Distribution**

Russian

Original: English

## Пятьдесят третья очередная сессия

Пункт 18 предварительной повестки дня  
(GC(53)/1)

# Обзор ядерных технологий – 2009

*Доклад Генерального директора*

## Резюме

- В ответ на просьбы государств-членов Секретариат ежегодно представляет всеобъемлющий Обзор ядерных технологий. Ниже прилагается доклад нынешнего года, в котором освещаются заметные события, произошедшие в основном в 2008 году.
- В *Обзоре ядерных технологий – 2009* рассматриваются следующие области: энергетические применения, усовершенствованные ядерные и термоядерные системы, атомные и ядерные данные, применения ускорителей и исследовательских реакторов, ядерные методы в продовольствии и сельском хозяйстве, здоровье человека, окружающая среда, водные ресурсы и производство и обеспечение доступности радиоизотопов. Дополнительная документация, связанная с *Обзором ядерных технологий – 2009*, имеется на веб-сайте Агентства<sup>1</sup> на английском языке и касается следующих тем: достижения в области мутационной селекции растений; обеспечение качества в области дозиметрии – достижения и тенденции; применение изотопов в сфере управления трансграничными реками и водоносными горизонтами; современные методы строительства новых АЭС; сопряжение АЭС с энергосетями; разработка комплексных стратегий действий в области климата, земельных, энергетических и водных ресурсов (КЗЭВ).
- Информацию о деятельности МАГАТЭ, связанной с ядерной наукой и технологиями, можно найти также в Ежегодном докладе МАГАТЭ за 2008 год (GC(53)/7), в частности, в разделе, посвященном технологии, и в Докладе о техническом сотрудничестве за 2008 год (GC(53)/INF/4).
- В документ были внесены изменения, с тем чтобы в максимально возможной степени учесть конкретные замечания Совета управляющих и другие замечания, полученные от государств-членов.

---

<sup>1</sup> <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html>



# Обзор ядерных технологий – 2009

*Доклад Генерального директора*

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. 2008 год был для ядерной энергетики годом парадоксов. Прогнозы будущего развития пересматривались в сторону повышения, однако к энергосистеме не было подключено ни одного реактора. Впервые с 1955 года не был введен в строй хотя бы один новый реактор. Вместе с тем началось сооружение десяти реакторов – самый большой показатель с 1985 года.
2. По крайней мере до начала глобального финансового кризиса сметная стоимость сооружения новых ядерных реакторов была по сообщениям зачастую выше, чем в предыдущие годы, особенно в регионах с менее широким опытом сооружения новых реакторов в последнее время. Вместе с тем в Российской Федерации были запланированы более высокие показатели темпов развития ядерной энергетики, и аналогичные меры рассматриваются в Китае. В августе Индия заключила с Агентством соглашение о гарантиях, после чего Группа ядерных поставщиков отменила ранее действовавшие ограничения в отношении ядерной торговли с Индией, что должно позволить Индии ускорить намеченное ею развитие ядерной энергетики.
3. В США в Комиссию по ядерному регулированию (КЯР) были представлены заявки на получение комбинированных лицензий (КОЛ) в отношении 26 новых реакторов. В министерство энергетики (МЭ) США была представлена часть I 19 заявок на получение гарантий по займам для сооружения 21 нового реактора.
4. Тем не менее расширение мощностей в настоящее время, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики будут по-прежнему происходить главным образом благодаря Азии. Из десяти реакторов, сооружение которых началось в 2008 году, восемь расположены в Азии. Из 44 строящихся реакторов, по состоянию на конец года, 28 находятся в Азии, и там же размещены 28 из 39 реакторов, которые были подключены в последнее время к энергосистеме.
5. Армения присоединилась к числу членов Международного центра по обогащению урана в Ангарске, Сибирь, каковыми уже являются Казахстан и Российская Федерация. О своем намерении сделать то же самое объявило правительство Украины. Компании "АРЕВА" и ЮСЭК направили в МЭ США заявки на получение гарантий по займам для строительства предложенной компанией "АРЕВА" обогатительной установки в Игл-Роке и американского центрифужного завода компании ЮСЭК.

6. На бывшем железном руднике «Конрад» в Германии начато строительство подземного хранилища радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. МЭ США представило официальную заявку на строительство и эксплуатацию давно запланированного хранилища высокоактивных отходов "Юкка-Маунтин" в штате Невада.

7. Международная организация ИТЭР по термоядерной энергии официально представила заявку на получение разрешения на сооружение Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), экспериментального реактора термоядерного синтеза, в Кадараше, Франция.

8. К числу областей, где ядерные и изотопные методы вносят важный вклад в социально-экономическое развитие всего мира, относятся управление водными ресурсами, продовольственная безопасность, здоровье человека, охрана окружающей среды и использование радиоизотопов и излучений.

9. В области продовольствия и сельского хозяйства ядерные методы используются вместе с дополнительными методами для повышения продуктивности животноводства и профилактики распространения опасных трансграничных болезней животных, таких как птичий грипп. В условиях расширения международной торговли растет также необходимость обеспечения безопасности пищевых продуктов. Изотопные методы используются для отслеживания происхождения пищевых продуктов и путей попадания в них загрязнителей как средства обеспечения их качества.

10. Растущую роль в создании новых лекарственных препаратов играет ядерная визуализация. Все более неотъемлемой частью стратегий развития становятся меры по улучшению питания; составной частью эффективных стратегий предупреждения развития в последующем хронических заболеваний может стать использование стабильных изотопов для оценки ключевых аспектов питания, таких как композиционный состав тела. Постепенно, хотя и медленно, реальностью терапевтической ядерной медицины становится использование долгожданного "чудодейственного средства", которое при узконаправленном воздействии убивает раковые клетки, не повреждая здоровые ткани.

11. В области управления природными ресурсами ядерные методы помогают оценивать "горячие частицы", вид радионуклида, который может поступать в окружающую среду из ряда источников, в том числе во время испытаний оружия и ядерных аварий. Стабильные изотопы используются для углубления понимания сложных пищевых сетей и круговорота углерода в морской среде. Радиоиндикаторные методы анализа используются для измерения последствий изменения климата, таких как воздействие подкисления океанов на биоразнообразие морской среды. Изотопные методы все более широко используются для оказания помощи в нетрудоемком определении водоносных горизонтов со стоялой водой и без пополнения или со свежей водой со значительным пополнением, что имеет важное значение для эффективного управления ресурсами пресной воды.

12. Растет глобальный спрос на источники радиоизотопов и излучений вследствие их использования в медицине и промышленности, одновременно увеличивается число региональных центров производства клинических радиоизотопных индикаторов для визуализации с помощью позитронно-эмиссионной томографии. Перебои в прошедшем году с поставками радиоизотопа молибден-99, источника технеция-99m, широко используемого для диагностической визуализации, негативным образом сказались на

обслуживании больных в центрах ядерной медицины во всем мире. Для обеспечения использования соответствующих реакторов при облучении мишеней из низкообогащенного урана в целях производства в будущем молибдена-99 потребуются поддержка правительств и более широкое сотрудничество между производителями изотопов, в том числе в рамках партнерских отношений между государственным и частным секторами.

## **А. Энергетические применения**

### **А.1. Ядерная энергетика сегодня**

13. В конце 2008 года во всем мире в эксплуатации находилось 438 ядерно-энергетических реакторов. К энергосистеме в 2008 году не было подключено ни одного реактора, и в конце года в соответствии с соглашением о присоединении Словакии к Европейскому союзу (ЕС) был выведен из эксплуатации второй энергоблок АЭС "Богунце". Общемировая мощность АЭС и доля ядерной энергетики в общемировом производстве электроэнергии практически не изменились и составили соответственно 372 ГВт (эл.) и 14% (см. таблицу А-1).

14. В 2008 году было начато сооружение 10 энергоблоков: первого энергоблока АЭС "Фанцзяшань", первого энергоблока АЭС "Фуцин", второго энергоблока АЭС "Хуняньхэ", первого и второго энергоблоков АЭС "Ниндэ" и первого энергоблока АЭС "Янцзян" (мощностью 1000 МВт (эл.) каждый) в Китае, первого энергоблока Нововоронежской АЭС-2 и первого энергоблока Ленинградской АЭС-2 (мощностью 1085 МВт (эл.) каждый) в Российской Федерации и второго энергоблока АЭС "Син-Волсон" (мощностью 960 МВт (эл.) и третьего энергоблока АЭС "Син-Кори" (мощностью 1340 МВт (эл.) в Республике Корея. По сравнению с этим в 2007 году было начато сооружение восьми энергоблоков и возобновлены активные работы по строительству еще одного реактора. В 2006 году было начато сооружение четырех энергоблоков и возобновлены работы по строительству одного реактора.

15. Расширение мощностей в настоящее время, а также кратко- и долгосрочное развитие ядерной энергетики будут по-прежнему происходить главным образом благодаря Азии. Из десяти реакторов, сооружение которых началось в 2008 году, восемь расположены в Азии. Как показано в таблице А-1, из 44 строящихся реакторов, по состоянию на конец года, 28 находятся в Азии, и там же размещены 28 из 39 реакторов, которые были подключены в последнее время к энергосистеме. В Китае рассматривается повышение запланированного на 2020 год показателя доли электроэнергии, произведенной на АЭС. Индия заключила с Агентством соглашение о гарантиях, после чего Группа ядерных поставщиков отменила ранее действовавшие ограничения в отношении ядерной торговли с Индией. Отмена этих торговых ограничений должна позволить Индии ускорить намеченное ею развитие ядерной энергетики.

16. Запланированные показатели производства электроэнергии на АЭС были увеличены и в Российской Федерации – до 52-59 ГВт (эл.) к 2020 году. Российская Федерация предоставила также лицензию на продление срока эксплуатации Кольской АЭС-1 до июля 2018 года, т. е. предусмотренный в настоящее время лицензией срок эксплуатации составит 45 лет.

17. Также в Европе в Соединенном Королевстве в январе 2008 года была опубликована "Белая книга", в которой подчеркивается, что дальнейшее использование ядерной энергетики как составного элемента структуры энергопроизводства в Соединенном Королевстве с низкой долей углерода отвечает общественным интересам, помогая достичь целей по сокращению выбросов и обеспечить надежное энергоснабжение. Несколько энергопредприятий Европы проявили интерес к сооружению новых реакторов в Соединенном Королевстве. В Италии было объявлено о планах воссоздания правовой, регулирующей и технической инфраструктуры, необходимой для возобновления осуществления ее ядерно-энергетической программы, которое было прекращено после референдума в 1987 году. В начале ноября нижней палатой парламента был принят законодательный акт об отмене ядерного моратория. В Румынии партнеры подписали инвестиционное соглашение о финансировании строительства третьего и четвертого энергоблоков АЭС "Чернаводэ". В Болгарии партнеры подписали контракты на строительство первого и второго энергоблоков АЭС "Белене". В Финляндии компания "Теоллисууден войма оий" (ТВО) представила в Государственный совет заявку на утверждение в принципе решения о сооружении четвертого энергоблока АЭС "Олкилуото", а другими компаниями готовятся еще две заявки. В Швейцарии компании "Атель", "Акспо" и "БКВ ФМБ энерджи" представили заявки на сооружение новых АЭС "Нидерамт", "Бецнау" и "Гёсген". В Словакии компания "Словенске электрарне" объявила тендер на возобновление строительства третьего и четвертого энергоблоков АЭС "Моховце".

18. В Канаде после представления в 2006 году компанией "Онтарио пауэр дженерейшн" заявки на получение лицензии на подготовку площадки правительство провинции Онтарио выбрало Дарлингтон в качестве площадки для сооружения двух новых реакторных блоков. Компании "Онтарио пауэр дженерейшн" были предоставлены также лицензии на эксплуатацию реакторов "Дарлингтон" и "Пиккеринг-В" еще на пять лет, до 2013 года.

19. В США Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) одобрила 10 предложений о повышении мощности в объеме в общей сложности 2178 МВт (тепл.). Она одобрила три предложения о продлении лицензий на 20 лет (таким образом, общий предусмотренный лицензиями срок эксплуатации составит 60 лет), и в результате общее число одобренных предложений о продлении лицензий к концу 2008 года достигло 51. Что касается нового строительства, то в КЯР были представлены заявки на получение комбинированных лицензий (КОЛ) в отношении 26 новых реакторов. В министерство энергетики (МЭ) США была представлена часть I 19 заявок на получение гарантий по займам для сооружения 21 нового реактора. Общая сумма запрошенных гарантий составляла 122 млрд. долл., что существенно больше предоставленных 18,5 млрд. долл.

20. По-прежнему проявляется большой интерес к разработке новых ядерно-энергетических программ. В прошедшие два года 55 государств-членов выразили заинтересованность в изучении возможности приступить к развитию ядерной энергетики, представив Агентству запросы на участие в проектах технического сотрудничества.

21. Агентство оказывает содействие государствам-членам в анализе вариантов развития энергетики и в подготовке к развитию ядерной энергетики и/или производству урана. В цикле проектов технического сотрудничества, начинающемся в 2009 году, число утвержденных проектов технического сотрудничества (ТС) по анализу вариантов развития энергетики увеличилось с 29 до 41. Число проектов по разведке и добыче урана возросло с 4 до 10, а число проектов по подготовке к развитию ядерной энергетики – с 13 до 44. Агентство стало предоставлять новые услуги: комплексные консультации странам, рассматривающим возможность приступить к развитию ядерной энергетики. В 2007 и 2008 годах было организовано 10 таких миссий: в Беларусь, Египет, Иорданию, Нигерию, Судан, Таиланд и на Филиппины, а также в страны – члены Совета сотрудничества стран Залива (трижды). Агентство готовит также руководящие документы. В 2008 году оно опубликовало документы "Оценка хода развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики" (*Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development*) и "Финансирование новых АЭС" (*Financing of New Nuclear Power Plants*), которые дополняют две основные публикации, изданные в 2007 году: "Вопросы, которые следует учитывать при разработке ядерно-энергетической программы" (*Considerations to Launch a Nuclear Power Programme*) и "Рубежи развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики" (*Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power*).

Таблица А-1. Ядерные энергетические реакторы в эксплуатации и в стадии сооружения в мире (по состоянию на 31 декабря 2008 года)<sup>а</sup>

СТРАНА	Реакторы в эксплуатации		Реакторы в стадии сооружения		Электроэнергия, произведенная на АЭС в 2008 году		Общий опыт эксплуатации на конец 2008 года	
	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	Число энергоблоков	Всего МВт (эл.)	ТВт·ч	% от общего объема производства	Годы	Месяцы
АРГЕНТИНА	2	935	1	692	6,9	6,2	60	7
АРМЕНИЯ	1	376			2,2	39,4	34	8
БЕЛЬГИЯ	7	5 824			43,4	53,8	226	7
БОЛГАРИЯ	2	1 906	2	1 906	14,7	32,9	145	3
БРАЗИЛИЯ	2	1 766			13,2	3,1	35	3
ВЕНГРИЯ	4	1 859			13,9	37,2	94	2
ГЕРМАНИЯ	17	20 470			140,9	28,8	734	5
ИНДИЯ	17	3 782	6	2 910	13,2	2,0	301	4
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА			1	915				
ИСПАНИЯ	8	7 450			56,5	18,3	261	6
КАНАДА	18	12 577			88,3	14,8	564	2
КИТАЙ	11	8 438	11	10 220	65,3	2,2	88	3
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	20	17 647	5	5 180	144,3	35,6	319	8
ЛИТВА	1	1 185			9,1	72,9	42	6
МЕКСИКА	2	1 300			9,4	4,0	33	11
НИДЕРЛАНДЫ	1	482			3,9	3,8	64	0
ПАКИСТАН	2	425	1	300	1,7	1,9	45	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	31	21 743	8	5 809	152,1	16,9	963	4
РУМЫНИЯ	2	1 300			10,3	17,5	13	11
СЛОВАКИЯ	4	1 711			15,5	56,4	128	7
СЛОВЕНИЯ	1	666			6,0	41,7	27	3
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	19	10 097			48,2	13,5	1 438	8
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ	104	100 683	1	1 165	806,7	19,7	3 395	9
УКРАИНА	15	13 107	2	1 900	84,5	47,4	353	6
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 696	1	1 600	22,1	29,7	119	4
ФРАНЦИЯ	59	63 260	1	1 600	419,8	76,2	1 641	2
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3 634			25,0	32,5	104	10
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 220			26,3	39,2	168	10
ШВЕЦИЯ	10	8 996			61,3	42,0	362	6
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 800			12,8	5,3	48	3
ЯПОНИЯ	55	47 278	2	2 191	241,3	24,9	1 386	8
Всего <sup>b, c</sup>	438	371 562	44	38 988	2 597,8	14%	13 475	7

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

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

— 6 энергоблоков - 4949 МВт (эл.) в эксплуатации; 2 энергоблока - 2600 МВт (эл.) в стадии строительства;

— 39,3 ТВт·час выработки электроэнергии на АЭС, что составляет 17,5% общего объема произведенной там электроэнергии;

— 164 года и 1 месяц суммарного опыта эксплуатации в конце 2008 года.

с. Суммарный опыт эксплуатации включает также данные по остановленным станциям в Италии (81 год) и Казахстане (25 лет, 10 месяцев).



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

22. Ежегодно МАГАТЭ обновляет свои низкий и высокий прогнозы глобального роста ядерной энергетики. В 2008 году как низкий, так и высокий прогнозы были пересмотрены в сторону повышения. В обновленном низком прогнозе глобальная мощность ядерной энергетики достигает 473 ГВт (эл.) в 2030 году по сравнению с уровнем 372 ГВт (эл.) в конце 2008 года. В обновленном высоком прогнозе этот показатель достигает 748 ГВт (эл.).

23. Международное энергетическое агентство (МЭА) также пересмотрело свой справочный прогноз развития ядерной энергетики на 2030 год в сторону повышения примерно на 5%<sup>2</sup>. Однако при установленной мощности АЭС в 2030 году, составляющей 433 ГВт (эл.), справочный сценарий МЭА дает уровень, который все же ниже низкого прогноза МАГАТЭ. МЭА также опубликовало два сценария политики в области климата. "Сценарий политики 550", соответствующий долгосрочной стабилизации атмосферной концентрации парниковых газов на уровне 550 частей на миллион CO<sub>2</sub>, приравнивают к увеличению глобальной температуры приблизительно на 3°C. "Сценарий политики 450" приравнивают к повышению приблизительно на 2°C. В сценарии политики 550 установленная мощность АЭС в 2030 году составляет 533 ГВт (эл.). В сценарии политики 450 она равна 680 ГВт (эл.).

24. Агентство по ядерной энергии ОЭСР опубликовало в 2008 году *Ядерно-энергетический обзор*, содержащий низкие и высокие прогнозы развития мощности ядерной энергетики на период до 2050 года<sup>3</sup>. На 2030 год прогнозируемый диапазон составляет 404-625 ГВт (эл.), что несколько ниже прогноза МАГАТЭ. На 2050 год прогнозируемый диапазон составляет 580-1400 ГВт (эл.).

25. Администрация энергетической информации США также пересмотрела свой справочный ядерно-энергетический прогноз на 2030 год и немного повысила его до 498 ГВт (эл.)<sup>4</sup>. Поэтому он несколько выше, чем низкий прогноз МАГАТЭ.

26. Все эти прогнозы были сделаны до финансового кризиса в конце 2008 года. В настоящее время не опубликовано каких-либо прогнозов, анализирующих последствия этого кризиса для ядерной энергетики.

---

<sup>2</sup> OECD International Energy Agency, *World Energy Outlook 2008*, Paris, France, 2008.

<sup>3</sup> OECD Nuclear Energy Agency, *Nuclear Energy Outlook 2008*, Paris, France, 2008.

<sup>4</sup> Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2008*, US Department of Energy, Washington, DC, 2008.

### **А.3. Топливный цикл<sup>5</sup>**

27. Число участников Глобального ядерно-энергетического партнерства (ГЯЭП), начатого в 2007 году, выросло в 2008 году до 25. Рабочая группа по развитию инфраструктуры ГЯЭП начала создавать ресурсную библиотеку ссылок, программ, инструментальных средств и объединенных ресурсов с целью поддержки совместного использования связанных с обучением ресурсов, содействия развитию возможностей в области технического образования и разработки новых учебных и образовательных программ. Она также приступила к выполнению ряда технико-экономических исследований для участников ГЯЭП, впервые рассматривающих возможность внедрения ядерной энергетики. Рабочая группа ГЯЭП по надежным услугам в области ядерного топлива завершила обзор юридических и институциональных структур участников в области топливного цикла с целью выявления общих проблем. Впоследствии она уделит основное внимание вопросам, связанным с конечной стадией топливного цикла.

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

28. В 22-м издании "Красной книги" АЯЭ/ОЭСР-МАГАТЭ<sup>6</sup> сообщается об увеличении урановых ресурсов, что отражает наблюдаемый в последнее время рост деятельности по разведке урана во всем мире. Рост установленных ресурсов представляет собой устойчивую тенденцию. За последние четырнадцать лет (семь изданий Красной книги) объем установленных остающихся урановых ресурсов увеличился более чем на 2,4 млн. тонн, несмотря на то, что добыча составила более чем 0,5 млн. тонн.

29. Установленных выявленных ресурсов (5,5 млн. тонн природного урана) при нынешнем уровне потребления, составляющем приблизительно 70 000 тонн в год, хватит на 83 года. Однако эта цифра – 83 года – может оказаться неточной, поскольку все данные о сроках исчерпания запасов минеральных ресурсов изменяются в зависимости от движения цен на сырьевые товары, и уран не является исключением. Полученные данные об увеличении ресурсов в период 2005-2007 годов соответствуют 11 годам уровня спроса на уран в 2006 году, и это является убедительной демонстрацией влияния роста цен на уран на общие цифры ресурсов. Кроме того, цифры установленных урановых ресурсов, представленные в Красной книге, отражают только часть уже известных ресурсов и не равны общему количеству урана, которое может быть добыто. Примерами стран, в которых урановые ресурсы известны, но о них не сообщено, являются Российская Федерация, США и Австралия.

30. Прогнозируемый срок 83 года – время, на которое при нынешних темпах потребления хватит установленных выявленных запасов урана – достаточно велик по сравнению с аналогичными показателями для запасов других сырьевых товаров (например меди, цинка, нефти и природного газа), которых должно хватить на 30-50 лет. Однако согласно прогнозам, спрос будет расти, и необходимо будет

---

<sup>5</sup> Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении топливного цикла содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>) и на веб-сайте Агентства <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>.

<sup>6</sup> АЯЭ/ОЭСР и МАГАТЭ, *Уран-2007: Ресурсы, производство и спрос*, ОЭСР, Париж, 2008 год.

заниматься горной добычей подземных ресурсов. Существующие, подтвержденные, запланированные и будущие установки по производству урана могли бы обеспечить удовлетворение потребностей в уране согласно высокому прогнозу Агентства приблизительно до 2025 года при условии расширения имеющихся шахт и открытия новых в соответствии с планами. Дополнительный спрос на уран необходимо будет удовлетворять путем введения в эксплуатацию новых рудников помимо тех, которые уже запланированы. Такого развития событий можно ожидать, поскольку будут размещены стабильные заказы на строительство новых АЭС (в случае высокого прогноза Агентства), что укрепит уверенность производителей урана в перспективах долгосрочного роста цен. Некоторая неопределенность в отношении количества нового урана, необходимого для покрытия спроса, связана с сохраняющейся, хотя и снижающейся, доступностью вторичных источников. Сегодня за счет вторичных источников удовлетворяется около 40% спроса.

31. В 2008 году Казахстан начал эксплуатацию нескольких новых площадок подземного выщелачивания (ПВ) и расширил производство еще на нескольких площадках ПВ, доведя его до полного проектного уровня в соответствии с планами производства урана в объеме 10 000 тонн урана в год в 2010 году. Производственная мощность многих площадок ПВ составляет не менее 1 000 тонн урана в год (т урана/год). В 2008 году начаты земляные работы на строительстве нового завода по переработке урана в Туммалапалле, шт. Андра-Прадеш, Индия, проектной мощностью 220 т урана/год.

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

32. Суммарные мировые производственные мощности по конверсии составляют около 75 000 тонн природного урана в год (т урана/год) по гексафториду урана ( $UF_6$ ) и 4 500 т урана/год по диоксиду урана ( $UO_2$ ). Современный спрос составляет около 70 000 т урана/год. Компания "АРЕВА" планирует начать строительство новой установки по конверсии "КОМУРХЕКС II" в 2009 году, а первоначальная запланированная производственная мощность по конверсии  $UF_6$  составит 15 000 т урана/год в 2012 году.

33. Суммарные мировые производственные мощности составляют в настоящее время около 50 миллионов единиц разделительной работы в год (ЕРР/год), в то время как суммарный спрос приблизительно равен 45 миллионам ЕРР/год. Ведется строительство еще трех новых обогатительных установок промышленных масштабов – "Жорж Бесс II" во Франции и Американского центрифужного завода (АЦЗ) и Национальной установки по обогащению (НУО) в США. На всех предприятиях используется центрифужное оборудование, и ввод всех их в эксплуатацию запланирован на 2009 год. Предполагается, что установки "Жорж Бесс II" и АЦЗ позволят вывести из эксплуатации существующие газодиффузионные обогатительные предприятия. Компании "АРЕВА" и ЮСЭК направили в МЭ США заявки на получение гарантий по займам для строительства АЦЗ компании ЮСЭК и предложенной компанией "АРЕВА" обогатительной установки в Игл-Роке. Армения присоединилась к Российской Федерации и Казахстану в качестве члена Международного центра по обогащению урана (МЦОУ) в Ангарске, Сибирь, а в декабре правительство Украины объявило, что Украина также присоединится к ним.

34. Суммарные мировые производственные мощности по изготовлению топлива составляют в настоящее время около 11 500 т урана/год (обогащенного урана) по топливу легководных реакторов (LWR) и приблизительно 4 000 т урана/год (природного урана) по топливу корпусных тяжеловодных реакторов (PHWR).

Суммарный спрос составляет около 12 000 т урана/год. Проводятся работы по расширению существующих установок, например в Китае и Республике Корея. Новая установка по изготовлению смешанного оксидного (МОХ) топлива строится в Роккасё, Япония, причем ее строительство планируется завершить в 2012 году.

### **А.3.3. Конечная стадия топливного цикла**

35. Согласно прогнозам, общее количество отработавшего топлива, выгруженного из реакторов во всем мире, достигнет к концу 2008 года 324 000 тонн тяжелого металла (тм). Из этого количества уже переработано приблизительно 95 000 тм, 16 000 тм в настоящее время хранится в ожидании переработки, а 213 000 тм хранится в бассейнах хранения отработавшего топлива в реакторах или на установках для хранения вне площадок реакторов (ВНР). Установки для хранения ВНР регулярно расширяются посредством добавления модулей к имеющимся сухим хранилищам и путем строительства новых установок.

36. Суммарные мировые производственные мощности по переработке составляют приблизительно 6 000 тм/год. В Соединенном Королевстве в 2007 году установка "Торп" по переработке ядерного топлива в Селлафилде была вновь введена в промышленную эксплуатацию спустя три года после того, как она была закрыта после обнаружения радиоактивной утечки. Испытания на новом заводе по переработке в Роккасё потребовали больше времени, чем ожидалось, и промышленная эксплуатация была отложена до середины 2009 года.

37. На бывшем железном руднике «Конрад» в Германии начато строительство подземного хранилища радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. Первая загрузка в него отходов запланирована на начало 2014 года.

38. В Батапати, Венгрия, в 2008 году было открыто постоянное хранилище радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. Отходы будут временно храниться в зоне приемки до тех пор, пока в 2010 году не будут открыты пустоты горных пород для окончательного захоронения отходов.

39. Шведской компании, занимающейся обращением с ядерным топливом и отходами (СКБ), которая несет ответственность за хранение шведских ядерных отходов, предоставлена лицензия на эксплуатацию в связи с увеличением емкости центрального хранилища для временного хранения отработавшего ядерного топлива в Оскарсхамне с 5 000 тм до 8 000 тм.

40. МЭ США представило в КЯР официальную заявку на получение лицензии на строительство и эксплуатацию давно запланированного хранилища высокоактивных отходов "Юкка-Маунтин", шт. Невада. Согласно проекту, емкость хранилища составляет 70 000 тм отработавшего ядерного топлива, включая 7 000 тм военных отходов.

41. В 2008 году мировые статистические данные о снятии с эксплуатации оставались неизменными: десять энергетических реакторов во всем мире были полностью сняты с эксплуатации, а их площадки разрешены для использования без ограничений; семнадцать реакторов были частично демонтированы и безопасно законсервированы; тридцать два демонтируются перед конечной передачей площадки в использование; и тридцать четыре реактора подвергаются минимальному демонтажу перед долгосрочной консервацией.

## **А.4. Дополнительные факторы, влияющие на будущее ядерной энергетики**

### **А.4.1. Экономика**

42. В последний раз краткие данные о сметах затрат для новых АЭС были приведены в *Обзоре ядерных технологий* в 2006 году. В этих данных сравнивались сметы из семи исследований, опубликованных с 2003 по 2005 годы. Оценки единоразовых затрат варьировались в диапазоне от 1 200 долл./кВт (эл) до 2 510 долл./кВт (эл)<sup>7</sup>.

43. За прошедший год диапазон оценок расширился вверх. На рис. А-1 показаны минимальные и предельные значения недавних оценок, собранных Агентством из открытых источников.

44. Нет четкого объяснения ни повышенной неопределенности оценок затрат (т.е. более широкого их диапазона), ни роста оценок затрат (т.е. более высокого их диапазона), хотя были высказаны предложения в отношении нескольких возможных факторов. Кроме того, оценки затрат, отраженные на рис. А-1, были сделаны перед финансовым кризисом в конце 2008 года. Ко времени составления данного доклада влияние финансового кризиса на оценки затрат ядерной энергетики все еще представляется неясным. Поэтому в настоящем разделе кратко изложены факторы, которые, возможно, внесли свой вклад в повышение оценок затрат и увеличение неопределенности, но, в отсутствие строгих исследований, дать окончательные разъяснения не представляется возможным.

45. В данном разделе в основном приведены данные о единоразовых затратах, однако важным элементом затрат для ядерных реакторов является также уровень процентной ставки в период строительства (ПСС). Финансисты, владельцы и акционеры имеют тенденцию менее охотно предоставлять данные об оценках ПСС, которые более специфичны для конкретных проектов, чем единоразовые затраты. Таким образом, довольно трудно составить четкую диаграмму общих затрат (включающих ПСС), сопоставимую с рис. А-1 для единоразовых затрат. Однако включение ПСС может до двух раз увеличить суммарные затраты на проект, особенно если в ходе его осуществления изменяются в худшую сторону такие факторы, как сроки строительства, процентные ставки или состояние рынка. Поэтому использование в настоящем разделе в основном параметра единоразовых издержек не следует рассматривать как уменьшение важности ПСС.

---

<sup>7</sup> В "единоразовые затраты" не входят затраты на выплату процентов, на финансирование и затраты в связи с ростом издержек в течение строительства – как если бы станция была построена сразу же. Затраты в связи с ростом издержек отражают рост цен в течение строительства. Их не следует смешивать с непредвиденными расходами, которые связаны только с непредвиденными работами.

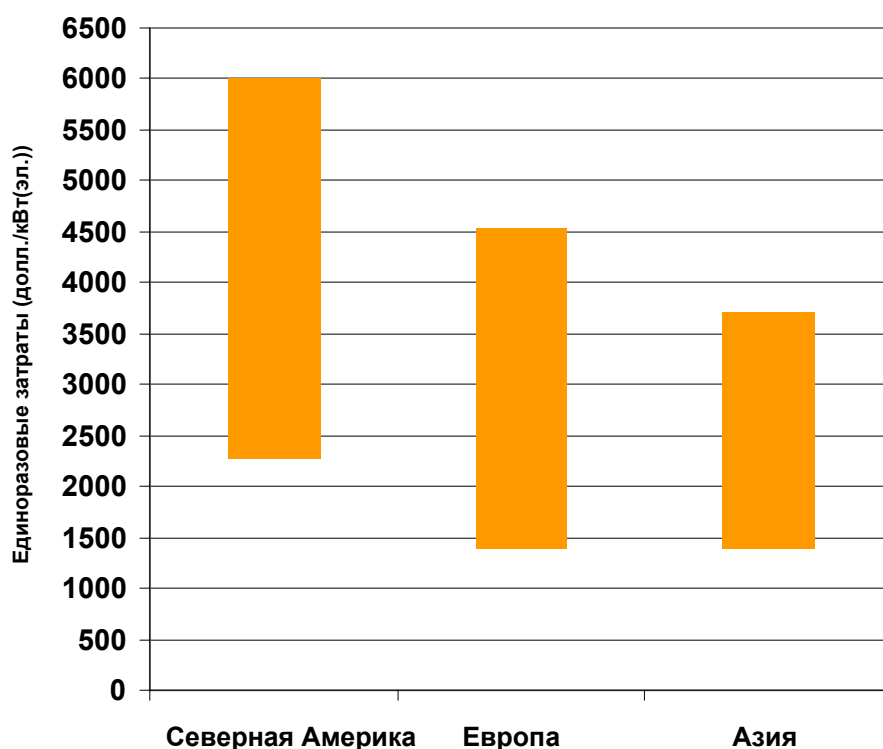


Рис. А-1. Минимальные и максимальные оценки единоразовых затрат для новых ядерных энергетических реакторов, по регионам: 2007-2008 годы.

### Неопределенности в оценках затрат

46. Одной из причин расхождения оценок затрат является то, что различные эксперты пользуются различными определениями. Элементами затрат, которые иногда включаются, а иногда исключаются, являются затраты, связанные с оценкой конкурентных предложений, выбором площадки и подготовкой, затраты на лицензирование, затраты владельца и непредвиденные затраты и некоторые затраты на финансирование.

47. Некоторые расхождения связаны с местными различиями. Строительство на новой площадке является обычно более дорогостоящим, чем строительство на площадке, где уже есть реакторы. Строительство в зоне повышенной сейсмической активности влечет дополнительные затраты. Затраты на рабочую силу и материалы могут колебаться, и их влияние зависит от степени использования местных ресурсов, т.е. процентной доли элементов станции, которые производятся или закупаются на месте. Субсидии и финансовые гарантии инвестиций в ядерную энергетику в разных странах и регионах неодинаковы. Могут также различаться регулирующие требования и прогнозируемость таких требований. Наличие недавнего опыта обычно уменьшает неопределенность – и это обстоятельство, по-видимому, отражено на рис. А-1. Для региона, обладающего новейшим опытом строительства новых реакторов – Азии – характерны самая низкая оценка затрат и наименьшая неопределенность. В регионе с наименее передовым опытом, Северной Америке, затраты и неопределенность наиболее велики.

48. На оценки затрат оказывают также влияние условия контрактов. Контракт на проектирование и строительство объекта под ключ может быть более дорогостоящим, чем контракт на основе издержек плюс фиксированной прибыли, если подрядчик закладывает в цену контракта на проектирование и строительство объекта под ключ любые риски, связанные с возможностью незавершения работ. Дополнительную вариабельность вносят обменные курсы, инфляционные ожидания и их специфическое влияние на различные компоненты затрат.

49. С различными технологиями связаны разные затраты. Апробированные конструкции могут стоить меньше, чем "головные образцы" реакторов, и строительство "головного образца" реактора будет, скорее всего, стоить дороже, чем строительство последующих реакторов той же самой конструкции. Различные оценки также включают разные скорости обучения при ожидании того, как быстро будут снижаться расходы по мере накопления опыта.

50. Различные перспективы также ведут к неодинаковым оценкам. В опубликованном в 2006 году докладе Комиссии Соединенного Королевства по устойчивому развитию указывается, что рынок четко подталкивает поставщиков реакторных систем к занижению оценок затрат, особенно до заключения договорных обязательств<sup>8</sup>. Энергопредприятия могут иметь тенденцию быть более консервативными.

### **Рост оценок затрат**

51. Возможными факторами, повлиявшими на рост оценок затрат для новых реакторов, являлись более напряженные товарные рынки и активный рост в течение большей части 2008 года международных цен на сталь, цемент, энергию и другие составные элементы строительства. Этот рост также повлиял на оценки затрат для других видов электростанций, но поскольку доля капитальных затрат в случае ядерной энергетики выше, влияние на нее оказалось более заметным<sup>9</sup>. В конце 2008 года рост большинства цен на сырьевые товары стал отрицательным<sup>10</sup>, отчасти по причинам циклического характера (существовавшие ранее высокие цены стимулировали расширение производственных мощностей и снижение спроса), а отчасти ввиду финансового кризиса.

---

<sup>8</sup> Комиссия Соединенного Королевства по устойчивому развитию, *The role of nuclear power in a low carbon economy — Paper 4: The economics of nuclear power* (Роль ядерной энергетики в низкоуглеродной экономике – Доклад 4: экономика ядерной энергетики), подготовлен специализированной школой исследований в области научно-технической политики (ИНТП, университет Сассекс) и компанией "НЕРА экономик консалтинг", март 2006 года.

<sup>9</sup> Однако если исходить из продолжительности жизненного цикла и с точки зрения стоимости производства энергии, влияние на атомные электростанции оказывается наименьшим, поскольку они имеют самый низкий удельный показатель потребности в материалах на кВт.ч произведенной электроэнергии.

<sup>10</sup> К ноябрю 2008 года контрольная цена на медь упала вдвое по сравнению с сентябрем 2008 года, а мировые цены на сталь снизились с июля 2008 года почти на 80%.

52. Неустойчивость цен на сырьевые товары, вероятно, в действительности и сама по себе также способствовала росту наценок, учитывающих непредвиденные обстоятельства, и, тем самым, повышению оценок затрат. Аналогичное влияние мог оказать и финансовый кризис.

53. Оценки затрат, возможно, также возросли потому, что за последние несколько лет глобальный ядерный рынок превратился из рынка покупателей в рынок поставщиков, а такая трансформация обычно приводит к давлению на цены в сторону их повышения. Размеры портфелей заказов поставщиков достигли уровня, не отмечавшегося с конца 1970-х годов. Мощности крупного ковочного оборудования ограничены, и сроки выполнения заказов, превышающие 50 месяцев, не являются чем-то необычным.

54. Еще одним фактором, способствовавшим общему росту оценок затрат, может являться тот факт, что большая часть этих оценок выполнена в Европе и особенно в Северной Америке, где отсутствие недавнего опыта строительства по сравнению с Азией и новых конструкций реакторов, вероятно, вносят свой вклад в повышение оценок, отраженное на рис. А-1.

55. И наконец, по мере приближения реального осуществления проектов, более значительная часть недавних оценок затрат может отражать скорее консерватизм энергопредприятий в оценке затрат, чем оптимизм поставщиков при их оценке и технологический оптимизм некоторых правительственных и академических исследований.

#### **А.4.2. Безопасность<sup>11</sup>**

56. Показатели безопасности, подобные тем, которые были опубликованы Всемирной ассоциацией организаций (ВАО АЭС), эксплуатирующих АЭС, и воспроизведены на рис. А-2 и А-3, в 1990-х годах значительно улучшились. В последние годы в некоторых областях ситуация стабилизировалась. Однако разрыв между лучшими и худшими показателями работы все еще велик, так что существуют широкие возможности для дальнейших улучшений.

57. Более детальная информация по безопасности и недавние события, имеющие отношение ко всем ядерным применениям, представлены в годовом *Обзоре ядерной безопасности – 2008* Агентства (GC(53)/INF/2).

---

<sup>11</sup> Более подробная информация о деятельности Агентства, касающейся ядерной безопасности, содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>) и на веб-сайте Агентства <http://www-ns.iaea.org/>.



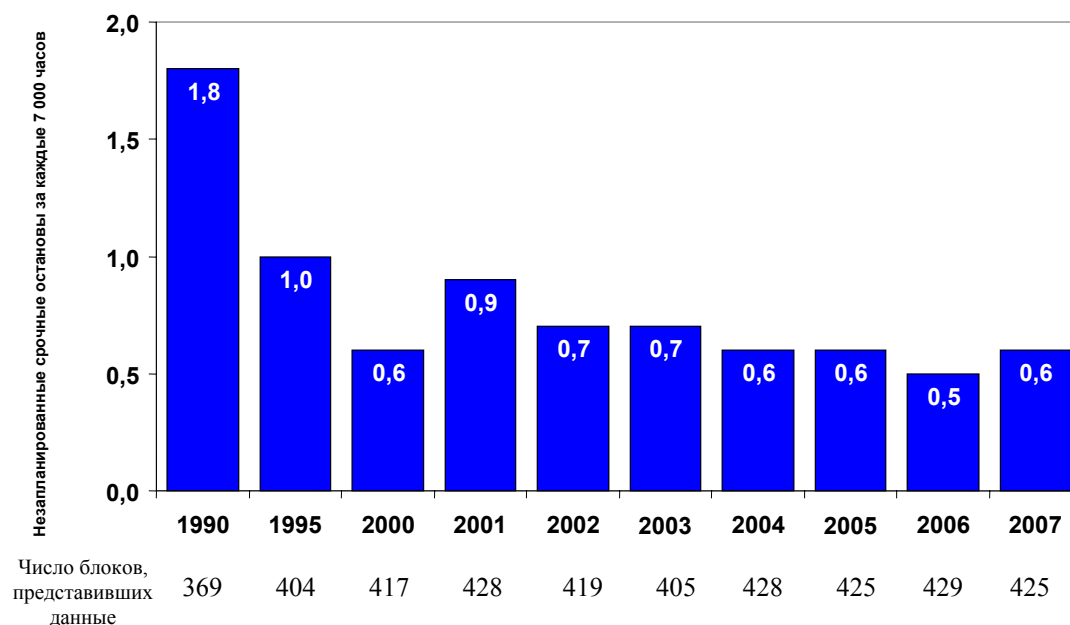


Рис. А-2. Число незапланированных срочных остановов на каждые 7 000 часов работы в критическом режиме. Источник: ВАО АЭС 2007 год. Оценочные показатели.

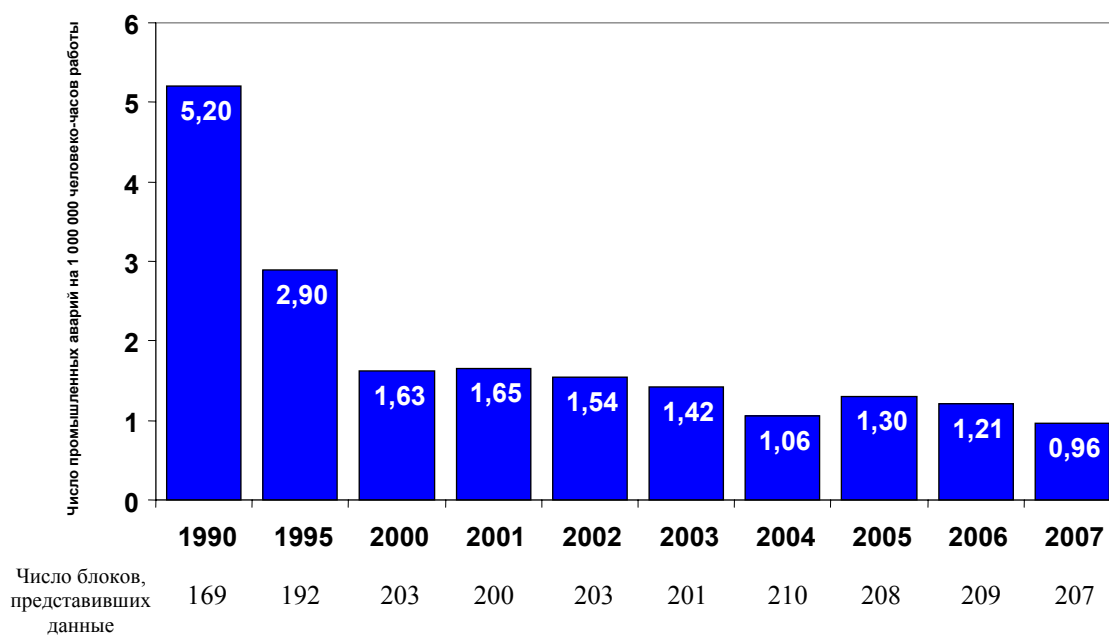


Рис. А-3. Число промышленных аварий на АЭС на 1 000 000 человеко-часов работы. Источник: ВАО АЭС 2007 год. Оценочные показатели.

#### А.4.3. Развитие кадровых ресурсов

58. Получение оценочных данных о потребностях в кадровых ресурсах, связанных с прогнозами, обсужденными в разделе А.2, является непростой задачей. Кроме того, имеется мало данных о числе специалистов различных квалификаций, требуемых сегодня атомной промышленностью, и о количестве соответствующих программ обучения и подготовки кадров.

59. В ряде стран была выражена обеспокоенность по поводу возможного дефицита специалистов, обладающих квалификацией, требуемой ядерно-энергетической промышленности. В докладе ОЭСР/АЯЭ, опубликованном в 2000 году, были впервые приведены количественные данные о состоянии ядерного образования в странах – участниках этой организации и отмечалось, что в большинстве случаев спад в области ядерного образования настолько значителен, что становится все более трудно поддерживать экспертные ресурсы и компетенцию в области основных ядерных технологий<sup>12</sup>. Однако ОЭСР/АЯЭ также отметило, что степень утраты технических компетентных знаний и квалификации изменяется от страны к стране в зависимости от прочности положения, занимаемого ядерно-энергетической программой<sup>13</sup>. Парадоксальный результат состоит в том, что озабоченность по поводу нехватки кадровых ресурсов, по-видимому, выражается менее часто в странах с более быстрыми растущими программами.

60. Обеспокоенность по поводу возможного дефицита кадров привела к инициативам правительств и промышленности, выдвинутым с целью привлечь студентов и расширить обучение и подготовку кадров в связанных с ядерной тематикой областях. В тех случаях, когда имеются данные, они свидетельствуют об успехе этих инициатив. На рис. А-4 показано увеличение числа дипломированных специалистов со степенями в области ядерной техники в США, главным образом в результате осуществления Университетской программы помощи развитию инфраструктуры и образования в области реакторов.

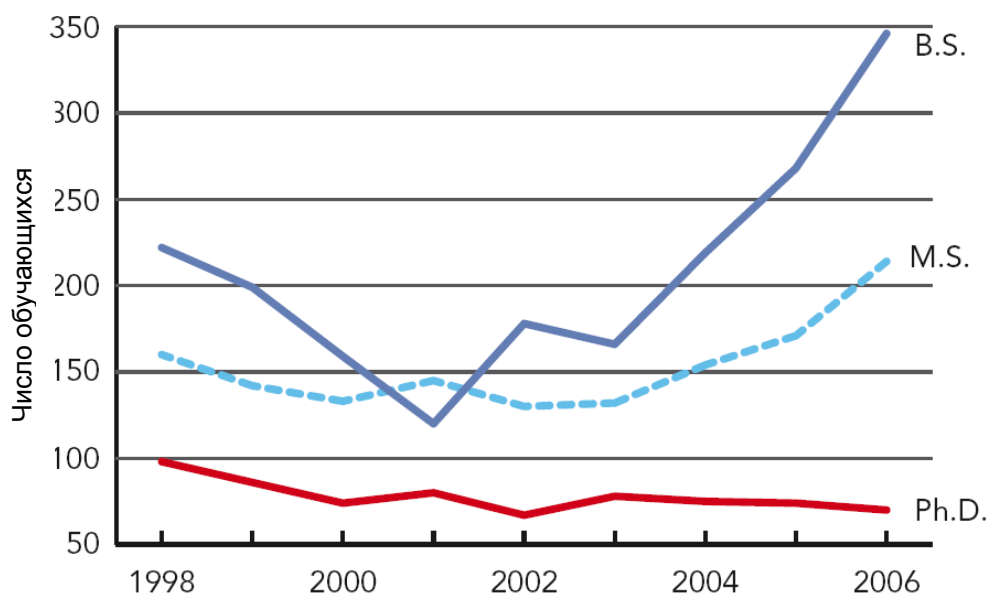


Рис. А-4. Количество ученых степеней в области ядерной техники в американских университетах (B.S. = бакалавр наук, M.S. = магистр наук, Ph.D. = доктор философии). (Источник: Агентство по ядерной энергии ОЭСР, *Nuclear Energy Outlook 2008 (Обзор по ядерной энергии – 2008)*, Париж, Франция, 2008 год)

<sup>12</sup> OECD Nuclear Energy Agency, *Nuclear Education and Training: Cause for Concern?* Paris, France, 2000.

<sup>13</sup> OECD Nuclear Energy Agency, *Nuclear Energy Outlook 2008*, Paris, France, 2008.

61. В случае реализации более высоких прогнозов развития ядерной энергетики, описанных в разделе А.2, успех, отраженный на рис. А-4, придется повторить еще несколько раз. Эта задача будет трудной, но не беспрецедентной. Например, в случае осуществления высокого прогноза Агентства потребуется ежегодно подключать к энергосетям в среднем 17 новых реакторов, что по существу то же самое, что годовое среднее число 16 новых реакторов в 1970-х годах. Кроме того, в высоком прогнозе доля ядерной энергетики в глобальном производстве электроэнергии остается почти постоянной в период до 2030 года, и это означает, что темпы роста других источников электроэнергии – и необходимых им кадровых ресурсов – будут такими же, как и в ядерной энергетике. Так что задача, стоящая перед ядерной энергетикой, не является исключительной.

#### **А.4.4. Поддержка общественностью ядерной энергии**

62. Первый вопрос в руководящих материалах Агентства для стран, рассматривающих возможность внедрения ядерной энергетики<sup>14</sup>, носит название “национальная позиция”: “Правительству следует сделать ясное заявление о намерении развивать ядерно-энергетическую программу и распространить информацию об этом намерении на местном, национальном, региональном и международном уровнях”. Подобную рекомендацию можно было бы высказать для стран, где уже имеется ядерная энергетика, а всем правительствам, поддерживающим ядерную энергетiku, следует стремиться к получению широкой национальной поддержки.

63. Наиболее распространенным способом узнать, имеется ли широкая национальная поддержка ядерной энергетики, соответствующая обсужденным в разделе А.2 растущим ожиданиям, является проведение опросов общественного мнения. Однако этот подход имеет свои слабые места. Получаемые ответы могут зависеть от того, как сформулирован вопрос, и даже эксперты могут расходиться в мнениях о том, как следует интерпретировать некоторые ответы. Тем не менее существуют надежные методы устранения систематических ошибок, связанных с размером выборки, формулировками вопросов и интерпретацией результатов.

64. На рис. А-5 и А-6 представлены наблюдающиеся в последнее время тенденции или, в тех случаях, когда не имеется динамических данных, зафиксированные уровни общественной поддержки ядерной энергии в странах, уже использующих ядерную энергетiku (рис. А-5), и в нескольких странах, где ядерной энергетики нет (рис. А-6). Значение по вертикальной оси – индекс общественной поддержки (ИОП) – представляет собой усредненное число обследований, рассмотренных для данной страны и года, нормализованное по шкале от 0 (полное отклонение) до 100 (полное одобрение).

65. ИОП в странах, где уже имеются ядерно-энергетические программы (рис. А-5), обычно выше, чем в странах, где их нет (рис. А-6).

---

<sup>14</sup> МАГАТЭ, "Основные этапы развития национальной ядерно-энергетической инфраструктуры" (Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power), серия изданий по ядерной энергии NG-G-3.1, Вена, Австрия, 2007 год.

66. В двенадцати странах, имеющих ядерно-энергетические программы и показанных на рис. А-5, в большинстве случаев общественная поддержка в 2008 году возросла. Двумя исключениями являются Испания и Германия, где осуществляется политика свертывания производства электроэнергии на АЭС. В третьей показанной на рис. А-5 стране, осуществляющей политику постепенного свертывания, Швеции, выявлена более сильная, более стабильная и несколько возрастающая поддержка ядерной энергетики.

67. Из семи стран, не имеющих ядерно-энергетических программ и показанных на рис. А-6, пять рассматривают возможность развертывания или повторного развертывания ядерно-энергетических программ: это - Египет, Индонезия, Италия, Польша и Таиланд. В этих пяти странах уровни ИОП превышают 50% или близки к этой цифре.

68. Детали обследований, рассмотренных для рис. А-5 и А-6, содержат информацию, дополняющую данные совокупных представленных на рисунках результатов и способную помочь при разработке программ общественной информации для конкретных ситуаций. Например, результаты для Венгрии показывают довольно быстрое восстановление с низких уровней, до которых снизилась общественная поддержка после аварии с накоплением топлива в промывочном баке в 2003 году. Из этого следует, что для обеспечения общественной поддержки весьма важна безопасная, безаварийная эксплуатация всех ядерных установок.

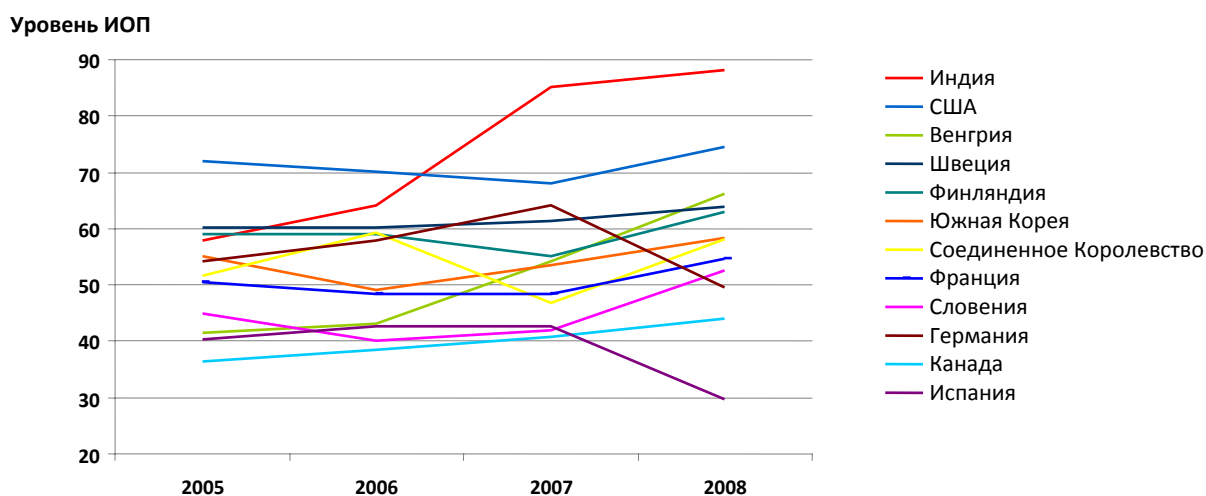


Рис. А-5. Общественная поддержка в ряде стран, использующих ядерную энергетику.

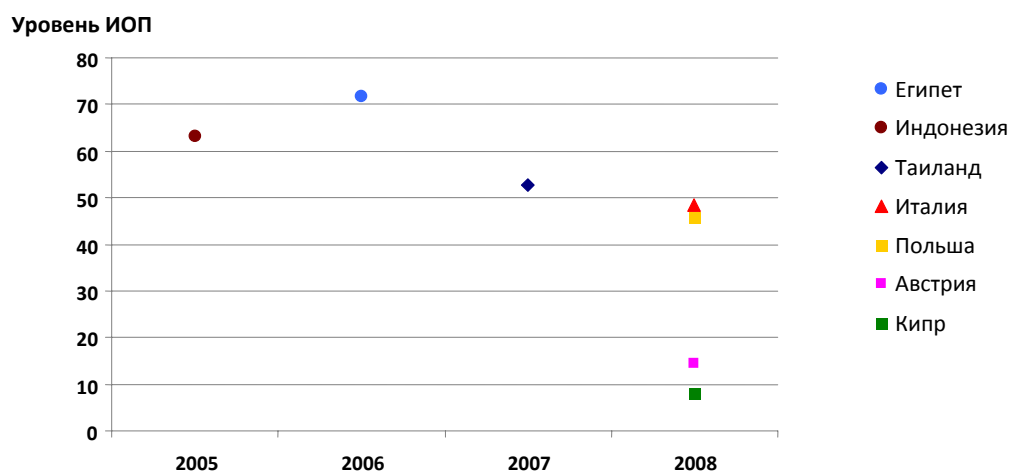


Рис. А-6. Общественная поддержка в ряде стран, не имеющих ядерно-энергетических программ.

## В. Усовершенствованные ядерные и термоядерные системы

### В.1. Усовершенствованные ядерные системы<sup>15</sup>

#### В.1.1. Водохлаждаемые реакторы

69. Все шесть реакторов, строительство которых начато в Китае в 2008 году, – это реакторы PWR мощностью 1000 МВт (эл.) эволюционной конструкции, основанной на технологии второго поколения с модификациями. Осуществление первого проекта реактора PWR третьего поколения, основанного на технологии AP-1000, планомерно продвигается вперед, и в 2009 году были начаты работы по строительству.

70. В Японии компания "Мицубиси хэви индастриз" разработала для американского рынка вариант усовершенствованного реактора с водой под давлением (APWR) мощностью 1700 МВт (эл.), US-APWR, для которого в 2008 году начат процесс сертификации конструкции в КЯР США. Европейский вариант APWR, EU-APWR, был также представлен в 2008 году с целью оценки его соответствия требованиям, предъявляемым к европейским энергопредприятиям.

71. В Республике Корея в 2008 году начато строительство первого усовершенствованного энергетического реактора APR-1400, "Шин-Кори 3".

<sup>15</sup> Более подробная информация об осуществляемой МАГАТЭ деятельности в отношении усовершенствованных ядерных реакторов содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>).

72. В Российской Федерации начато строительство первых энергоблоков ВВЭР-1200 в 2008 году – первого энергоблока Нововоронежской АЭС-2 и первого энергоблока Ленинградской АЭС-2. Были изменены подрядчик и площадка для первых плавучих реакторов КЛТ-40-С (два реактора мощностью 35 МВт (эл.) каждый), строительство которых началось в 2007 году. Плановая дата их ввода в эксплуатацию перенесена с 2010 года на 2012 год.

73. В 2008 году был начат процесс сертификации в КЯР США конструкции американского варианта Европейского реактора с водой под давлением (EPR), и была инициирована процедура подачи заявки на внесение поправок в сертификацию конструкции для AP-1000. Новые документы были представлены в качестве части предварительной заявки в КЯР на интегральный PWR компании "Вестингауз" мощностью 335 МВт (эл.), носящий название IRIS.

74. В Канаде компания "Атомик энерджи оф Кэнада лимитед" (АЭКЛ) разрабатывает усовершенствованный реактор CANDU (ACR), в котором в качестве мер по компенсации использования легкой воды в качестве теплоносителя первого контура применяются высокая степень стандартизации элементов и малообогащенный уран. В 2008 году Комиссия по ядерной безопасности Канады приступила к рассмотрению конструкции ACR-1000.

75. В Индии находятся в эксплуатации два тяжеловодных реактора (HWR) мощностью по 540 МВт (эл.). Индия занимается проектированием эволюционного реактора HWR мощностью 700 МВт (эл.) и усовершенствованного тяжеловодного реактора (AHWR), в которых будет использоваться тяжеловодный замедлитель с кипящим легководным теплоносителем в вертикальных напорных каналах и которые оптимизированы для использования ториевого топлива и имеют пассивные средства безопасности.

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

76. В 2008 году в Китае были завершены работы по монтажу элементов экспериментального реактора бассейнового типа на быстрых нейтронах мощностью 65 МВт (тепл.) (20 МВт (эл.)). Проводятся пусконаладочные работы. На станцию отгружено 250 тонн натрия ядерной чистоты, и в апреле 2009 года было произведено заполнение первого и второго контуров реактора.

77. В 2008 году в Калпаккаме, Индия, завершено строительство шахты прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах мощностью 500 МВт (эл.) (PFBR), и в шахте был смонтирован корпус реактора. Близятся к завершению работы по строительству зданий PFBR, являющихся частью комплекса зданий, содержащих ядерные компоненты. Готовы тепловой отражатель, панели теплоизоляции, баки-хранилища натрия, буферные емкости для аргона, ловушка радиоактивных материалов активной зоны и опорная конструкция активной зоны, и близятся к завершению работы на корпусе реактора.

78. В Японии завершены реконструкция реактора MONJU и испытания компонентов. Завершено также большинство комплексных испытаний систем. Тем не менее запланированное возобновление эксплуатации было перенесено с 2008 на 2009 год. Япония также приступила к осуществлению национального проекта по разработке технологии цикла реакторов на быстрых нейтронах с целью промышленного внедрения технологии быстрых реакторов.

79. В Белоярске, Российская Федерация, завершены работы по сооружению фундаментных плит реакторного и турбинного залов для реактора на быстрых нейтронах БН-800. Ввод в эксплуатацию запланирован на 2012 год.

80. В Бельгии продолжались работы по проектированию первого контура, конструкции активной зоны и по компоновке установки MYRRHA - подкритического экспериментального реактора на быстрых нейтронах - с целью обеспечения ее совместимости с проектом ЕС по экспериментальной системе, управляемой ускорителем (ХТ-ADS). Для тестирования мониторинга подкритичности строится экспериментальная установка ДЖИНЕВЕР, обеспечивающая сопряжение ускорителя дейтронов непрерывного действия с титаново-третиевой мишенью, установленной в подкритической размножающей системе на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем. Ввод установки ДЖИНЕВЕР в эксплуатацию запланирован на март 2010 года.

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

81. Гелиевая испытательная установка, введенная в эксплуатацию в 2007 году для южноафриканского модульного реактора с шаровыми твэлами (PBMR), позволила провести первые полномасштабные эксплуатационные испытания критических элементов системы управления реактивностью, резервной системы останова и системы обращения с топливом. В 2008 году Южноафриканский национальный ядерный регулирующий орган выдал лицензию на ввод в эксплуатацию в горячем режиме усовершенствованной установки для нанесения покрытий, расположенной в Пелиндабе, что позволяет начать изготовление топливных сфер в рамках проекта.

82. В Японии до конца 2009 года намечено проведение более строгих тестов высокотемпературного реактора для технических испытаний (HTTR), которые продлятся 90 дней, причем 50 дней из них – при температуре 950°C. В 2007 году были завершены первые 30-дневные испытания при работе на полной мощности с выходной температурой теплоносителя 850°C, в ходе которых были подтверждены усовершенствования в изготовлении топливных микросфер с покрытием.

83. В США в рамках проекта АЭС следующего поколения (NGNP) в 2008 году был достигнут важный рубеж, когда в ходе длительных периодов облучения (9%-е выгорание топлива) на усовершенствованном испытательном реакторе в Национальной лаборатории шт. Айдахо удалось добиться нулевого уровня отказов топлива. Это является значительным достижением в плане демонстрации безопасности трехструктурно-изотропического топлива (TRISO-топлива). Следующей целью является достижение до сентября 2009 года глубины выгорания топлива 16-18%.

84. В Китае Государственным советом Китайской Народной Республики был одобрен план осуществления работ по демонстрационному высокотемпературному газоохлаждаемому реактору. Лицензия проекта находится на рассмотрении, и ожидается, что строительство начнется в конце следующего года.

### **В.1.4. ИНПРО и МФП**

85. В рамках Международного проекта Агентства по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) подготовлено подробное пособие по методам оценки инновационных ядерно-энергетических систем, *Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems (Руководящие материалы по применению методологии оценки инновационных ядерно-энергетических*

систем), которое было опубликовано в начале 2009 года в качестве TECDOC-1575 МАГАТЭ. С использованием методов ИНПРО завершены одно совместное и шесть национальных исследований по оценке с целью определения слабых звеньев в цепи разработки, т.е. приоритетных направлений дальнейших исследований и разработок в каждом случае. В рамках ИНПРО в начале 2009 года был опубликован доклад *Common User Considerations by Developing Countries for Future Nuclear Power Plants (Общие пользовательские соображения развивающихся стран в отношении будущих АЭС)*, в составлении которого принимали участие, помимо 30 членов ИНПРО, еще 26 стран. Российское правительство впервые приняло решение о предоставлении ИНПРО многолетней поддержки на период 2008-2012 годов.

86. Посредством системы контрактов и соглашений Международный форум "Поколение IV" (МФП) координирует исследовательскую деятельность в области шести ядерно-энергетических систем следующего поколения, выбранных в 2002 году и описанных в *Дорожной карте технологий для ядерно-энергетических систем Поколения IV*: газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах (GFR), быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем, реакторов на солевых расплавах, реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (SFR), надкритических водоохлаждаемых реакторов (SCWR) и сверхвысокотемпературных реакторов (VHTR). В 2008 году Китай подписал "системную договоренность" о присоединении к сотрудничеству в области VHTR. Франция, Япония и США согласовывают работу над прототипами SFR, включая проектные цели, принципы безопасности, конфигурацию систем, уровень мощности, тип топлива, снижение затрат путем внедрения инноваций, графики и целевые даты для прототипов и связанных с ними инфраструктур. Осуществляются конкретные проекты по интеграции на уровне систем, безопасности и эксплуатации, усовершенствованному топливу, неядерному оборудованию станций и "глобальной международной демонстрации актинидного цикла".

## **В.2. Термоядерный синтез**

87. В феврале 2008 года Международная организация ИТЭР по термоядерной энергии (Организация ИТЭР) представила официальную заявку на получение разрешения на сооружение в Кадараше, Франция, Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) – экспериментального реактора термоядерного синтеза.

88. В октябре 2008 года на 22-й Конференции МАГАТЭ по энергии термоядерного синтеза (FEC 2008) в Женеве, Швейцария, было торжественно отмечено пятидесятилетие международных исследований в области термоядерного синтеза. FEC 2008 была проведена в тех же самых помещениях, что и вторая Международная конференция Организации Объединенных Наций по использованию атомной энергии в мирных целях в 1958 году, когда термоядерная тематика была впервые рассекречена и открыта для общественного обсуждения. На FEC 2008 было представлено рекордное число докладов – более 500.

89. Кроме того, Агентство и Организация ИТЭР подписали на FEC 2008 соглашение о сотрудничестве. Это сотрудничество включает обмен информацией, анализ вклада термоядерной энергии в будущие ядерно-энергетические сценарии, подготовку кадров, публикации, организацию научных конференций, исследования по физике плазмы и моделированию, а также по безопасности и физической безопасности термоядерного



синтеза. Целью соглашения является содействие взаимодействию между сторонами ИТЭР и другими государствами – членами Агентства, которые интересуются исследованиями в области термоядерного синтеза, но не являются членами ИТЭР.

90. Помимо успешного развития ИТЭР, лаборатории термоядерного синтеза в Бельгии, Бразилии, Исламской Республике Иран, Канаде, Китае, Португалии, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, Таиланде и Чешской Республике создают исследовательскую сеть пользователей малых термоядерных устройств. Агентство принимает участие в исследованиях в области малых токамаков посредством совместных экспериментов с целью содействия международному сотрудничеству, сетевому планированию и подготовке молодых ученых и, в частности, координирует эти исследования.

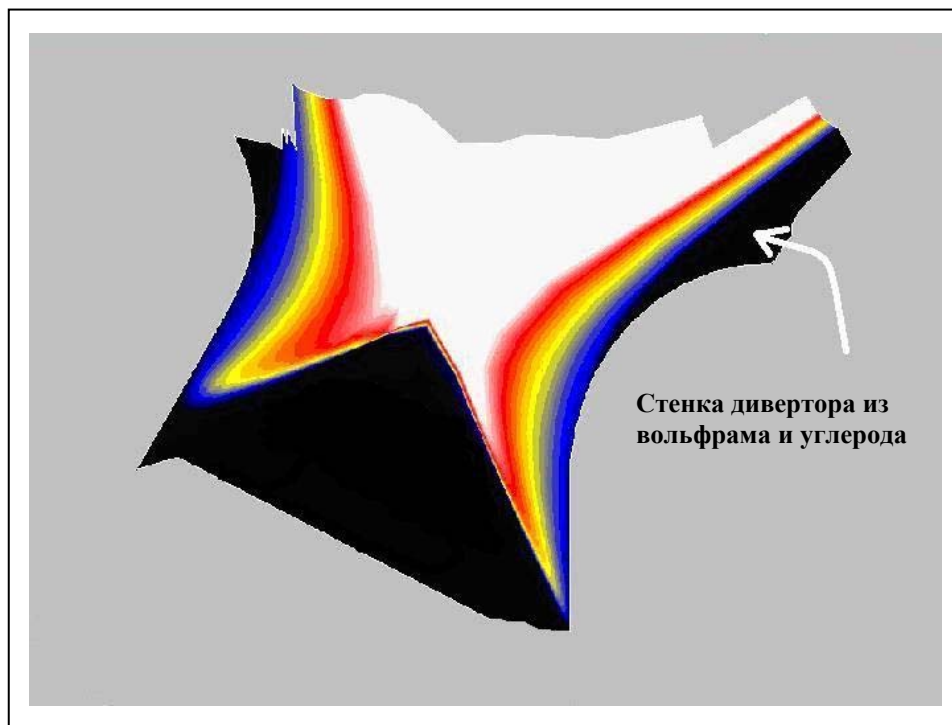
## **С. Атомные и ядерные данные**

91. В связи с ростом ожиданий в отношении ядерной энергетики, прогрессом в области термоядерного синтеза и нового поколения ядерных реакторов, в ряде докладов и обсуждений на Международной конференции по физике реакторов (PHYSOR'08) были отмечены осуществляемые усилия, в том числе в Агентстве, направленные на удовлетворение потребности в новых и обновленных данных о сечении ядерного деления и захвата для актинидов, потребности в уменьшении погрешностей и потребности в данных, необходимых для осуществления рециклирования отработавшего топлива.

92. Вопросы взаимодействия "плазма-стенка" в термоядерных реакторах, ведущего к образованию пылевых частиц, и связанные с безопасностью вопросы удержания, пирофорного поведения, ингаляционного поступления трития и обращения с ним были обсуждены на совещании 2008 года Подкомитета по атомным и молекулярным данным для термоядерного синтеза Международного совета по термоядерным исследованиям (МСТИ). Было рекомендовано, чтобы Агентство приступило к осуществлению многонациональных проектов координированных исследований по изучению размеров, состава и происхождения пылевых частиц и спектроскопических, столкновительных и связанных с распылением данных вольфрама как перспективного материала для термоядерных устройств (на рис. С-1 показан пример использования таких данных). Кроме того, для количественного определения радиационных повреждений и активации конструкционных элементов новых термоядерных устройств необходимо обновлять и расширять библиотеку оцененных ядерных данных для термоядерного синтеза (FENDL), используемую в проектных исследованиях и бенчмаркинге свойств материалов, связанных с ИТЭР.

93. В рамках суперкомпьютерной поддержки моделирования термоядерных устройств, разрабатываемых в соответствии с Европейским соглашением по исследованиям в области термоядерного синтеза, в мае 2009 года в суперкомпьютерном центре в Юлихе, Германия, был открыт центр высокопроизводительных вычислений для термоядерного синтеза.

94. Прямое облучение опухолевых зон у пациентов с использованием заряженных частиц, полученных на ускорителях, обеспечивает высокую точность доставки дозы к мишени и уменьшает вред, наносимый окружающим здоровым тканям. В Гейдельберге, Германия, и Павии, Италия, вскоре начнут функционировать два новых центра адронной терапии. Учитывая потребности в точных данных для разработки и планирования установок по лечению пациентов, приоритетное внимание уделяется организации координированных международных усилий с целью количественного определения и рекомендации обновленных данных о взаимодействии заряженных частиц для медицинских применений.



*Рис. С-1. Машинное моделирование температурного поля в зоне дивертора термоядерного устройства. Температуры варьируются в диапазоне от ~200 000 (синие оттенки) до 1 000 000 (красные оттенки) градусов Кельвина – уровня, близкого к температуре в центре Солнца. Это исследование, вычисления для которого производятся с помощью компьютерной модели B2-IRENE (Исследовательский центр в Юлихе), потребовало больших количеств надежных атомных и молекулярных данных, многие из которых были получены и собраны из ряда недавно выполненных проектов координированных исследований Агентства.*

## **D. Применения ускорителей и исследовательских реакторов**

### **D.1. Ускорители**

95. В развивающихся странах одним из важных путей развития компетенции в области ядерной науки является создание ускорительной установки, а также ее эффективное использование для образования и подготовки кадров и приобретения практического опыта во всех соответствующих применениях. Для дальнейшего расширения возможностей получения образования в развивающихся регионах Агентство содействует международному сотрудничеству в целях максимального использования существующего экспертного потенциала и установок, например, в Южной Африке, в интересах потенциальных региональных партнеров, например, Ганы и Нигерии.

96. Разработанные с использованием синхротронных источников излучения аналитические методы улучшают понимание новых и биологических материалов. Новые методы, разработанные с использованием малых обычных рентгеновских источников, применяются в настоящее время на синхротронах типа "АНКА" в Германии и будут также применяться на установке "Элеттра" в Италии. Такой подход делает возможным использование лучших характеристик рентгеновских лучей синхротронного излучения и, таким образом, позволит увеличить чувствительность и надежность анализов.

97. Прогресс в области технологий и контрольно-измерительной аппаратуры с применением ионных пучков способствует расширению использования сфокусированных протонно-ионных пучков в биомедицинских исследованиях, в особенности воздействия излучения на живые клетки. В ноябре 2008 года в Соединенном Королевстве была сдана в эксплуатацию первая в мире установка для вертикального сканирования с применением сфокусированного нанопучка для фундаментальных исследований. Благодаря ей будут получены новые данные о радиационной чувствительности раковых опухолей, о процессах, которые могут привести к раку, и о рисках радиационного облучения дозами низкого уровня. Новый протонный нанопучок впервые позволит исследователям с высокой точностью направлять протонные пучки нанометрических размеров на конкретные места в клетках человека и облучать их. Это позволит прояснить взаимодействия между химиотерапевтическими препаратами и облучением, что поможет клиницистам проверить эффективность различных стратегий лечения рака.

### **D.2. Исследовательские реакторы**

98. Исследовательские реакторы главным образом используются для производства радиоизотопов. В 2008 году в результате недоступности нескольких больших стареющих реакторов, используемых для производства изотопов, возникали проблемы и высказывалась озабоченность в отношении надежности снабжения изотопами (в частности, молибденом-99) для жизненно важных медицинских и промышленных применений. Единственным вероятным пополнением существующих мощностей, готовым к немедленному использованию, является новый реактор OPAL в Австралии, который впервые достиг полной мощности в 2006 году. Ряд национальных центров, занимающихся работой реакторов, вместе с Агентством изучают вариант

возможного увеличения мощностей за счет более широкого задействования реакторов, которые в настоящее время используются в недостаточной мере. Более подробная информация содержится в разделе I, посвященном радиоизотопам.

99. На первом ядерном исследовательском реакторе в Марокко, типа TRIGA Mark-II (2 МВт), первый выход на критичность был осуществлен в мае 2007 года; в июне на нем была достигнута полная мощность и в сентябре 2007 года завершены все требуемые реакторные испытания. Реактор расположен в Центре ядерных исследований Маамора (ЦЯИМ), примерно в 25 км к северу от Рабата. В нем используется НОУ топливо, и он спроектирован с учетом запланированного повышения мощности в будущем до 3 МВт. Эта установка будет использоваться для подготовки кадров, производства изотопов, услуг по проведению анализов, таких как нейтронно-активационный анализ и неразрушающие исследования, а также фундаментальных исследований в областях физики твердого тела и реакторной физики.

100. Учитывая прогнозируемое уменьшение числа исследовательских реакторов с 245 в настоящее время до порядка 100-150 в 2020 году, для обеспечения широкого доступа к таким установкам и их эффективного использования потребуется более широкое международное сотрудничество. С этой целью Агентство приступило к созданию ряда региональных сетей: Инициативы в области восточноевропейских исследовательских реакторов (EERRI), Объединения исследовательских реакторов стран Карибского бассейна (CRRC), Средиземноморской сети использования исследовательских реакторов (M-RRUN) и Балтийской сети использования исследовательских реакторов (B-RRUN). Дополнительная Сеть по анализу остаточного напряжения и структуры для промышленных партнеров (STRAINET) создана в первую очередь для конкретного применения, а не для региональных целей. Эти сети будут также вносить вклад в модернизацию существующих установок, разработку новых установок и улучшение доступа для стран, которые не имеют исследовательских реакторов. Новый марокканский реактор будет открыт для сообщества как национальных, так и международных пользователей на основе разделения времени и станет еще одним фактором, способствующим региональному сотрудничеству, сетевому взаимодействию и работе объединений исследовательских реакторов.

101. Работа по Программе по пониженному обогащению топлива для исследовательских и испытательных реакторов (RERTR) в рамках Инициативы по сокращению глобальной угрозы (ИСГУ) направлена на обеспечение перевода исследовательских реакторов, использующих ВОУ топливо, на топливо на основе НОУ. К концу 2008 года 62 исследовательских реактора, которые эксплуатировались с использованием ВОУ топлива, были остановлены или переведены на НОУ топливо, и запланирован перевод еще 39 реакторов на использование существующих аттестованных видов топлива. В октябре 2008 года на ежегодном совещании Программы RERTR, состоявшемся в Вашингтоне, О.К., отмечалось ее тридцатилетие.

102. Для осуществления перевода дополнительных 28 исследовательских реакторов потребуются усовершенствованные ураново-молибденовые виды топлива очень высокой плотности, которые еще предстоит разработать и аттестовать. Работа по таким видам топлива началась в начале 90-х годов прошлого века, но в ней пришлось столкнуться с трудностями в результате набухания реакционного слоя, образующегося между топливом и алюминиевой матрицей во время облучения. Эти исследования

проводятся в сотрудничестве с Международной рабочей группой по разработке топлива с участием Аргентины, Бельгии, Германии, Канады, Республики Корея, Российской Федерации, США и Франции. Существенный прогресс был достигнут на нескольких направлениях, однако для достижения цели Программы RERTR, заключающейся в предложении аттестованного топлива к концу 2011 года, необходим дальнейший прогресс и проведение значительных испытаний.

## **Е. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях**

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

103. Ядерные и связанные с ними технологии помогают повышать продуктивность животноводства. Изотопы углерода, водорода, серы, фосфора или азота используются для изучения преобразования и усвоения питательных веществ корма и оценки роли микробов в рубце скота при использовании кормов. Жвачные животные нуждаются в этих микроорганизмах, живущих в их желудочно-кишечном тракте, для преобразования компонентов корма в пригодные для использования источники энергии и протеин.

104. Идентификацию и селекцию желательных генетических свойств, например, более постное мясо, большие надои молока или устойчивость к болезням, можно осуществлять путем прямой маркировки ДНК. Изотопные маркеры используются для определения родословной или отслеживания происхождения продукции, и они помогают содействовать развивающимся странам в получении доступа к экспортным рынкам.

105. Стабильные изотопы, являясь природными "экологическими датчиками", полезны при изучении миграции животных. Профили углерода-13 и азота-15 могут дать информацию о происхождении и месте размножения мигрирующих птиц, что дает возможность проводить оценку риска и прогнозировать распространение заболеваний (например, птичьего гриппа). В настоящее время наиболее эффективными маркерами являются изотопы водорода, находящиеся в метаболически инертных, меняющихся в зависимости от сезона тканях, таких как перья и когти. После того, как будет установлен изотопный профиль той или иной конкретной популяции птиц или экосистемы, любой индивидуум может дать информацию о глобальной миграции этого вида или из этой базисной точки. Глобальные сети изотопов водорода и кислорода в воде выстраиваются с использованием базы данных Глобальной сети Агентства и Всемирной метеорологической организации (ВМО) "Изотопы в осадках" (GNIP) и сопоставляются с профилями перьев мигрирующих видов птиц в различных местах для

выявления роста перьев и для отслеживания, таким образом, происхождения мигрирующих птиц<sup>16</sup>.

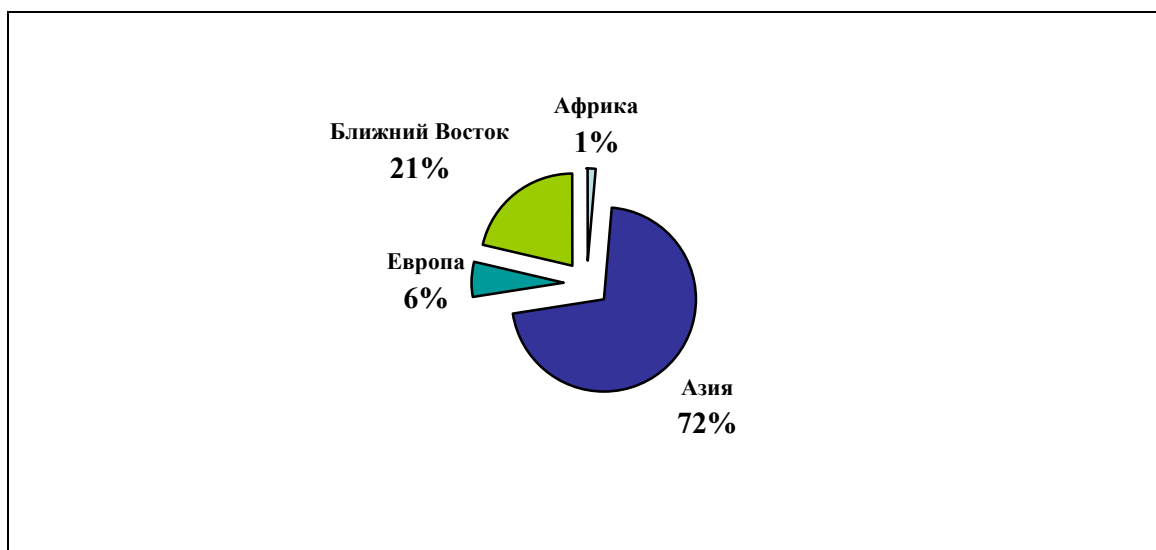


Рис. Е-1. Географическое распространение вспышек птичьего гриппа (подвид H5N1) среди домашней птицы в период 2003-2008 годов; источник: Всемирная организация по охране здоровья животных (МББЭ).

## Е.2. Исследования вакцин

106. Инактивация патогенов облучением радикально преобразует исследования вакцин. Обработанные таким образом вакцины стимулируют повышение защитного иммунитета, подобно живым патогенам, превосходящее то, которого удастся достичь путем термической или химической обработки. Облучение открывает новые возможности для предотвращения таких заболеваний, как нагана, ящур, фасциолёз и неоспороз крупного рогатого скота, в отношении которых полученные с помощью методов генетической инженерии вакцины, как правило, оказывались неэффективными. Судя по результатам проведенных в последнее время исследований, тщательное применение доз облучения для изменения экспрессии генов в патогенах приводит к улучшению защиты.

107. Наглядные доказательства генетических отличий в сопротивляемости к инфекционным заболеваниям в зависимости от породы и особи дают возможность получить альтернативные средства для лечения заболеваний животных путем идентификации генетических маркеров, связанных с такой сопротивляемостью. Эти методы включают использование меченных радиоактивными изотопами нуклеотидов при гибридизации ДНК, например характеризации ДНК, и процедуры картирования радиационных гибридов (РГ). Получение генетической информации в отношении видов поголовья скота имеет решающее значение для извлечения преимуществ из генетических вариаций с целью использования экономически важных признаков.

<sup>16</sup> Дополнительную информацию о работе МАГАТЭ в этой области можно найти на <http://www-naweb.iaea.org/nafa/aph/index.html>

Этому процессу значительно способствует классификация молекулярных маркеров с учетом прошедших селекцию хромосом.

108. Чтобы иметь возможность идентифицировать гены-"кандидаты" на предмет наличия конкретных признаков, карты РГ, полученные в результате разделения хромосом под воздействием излучения в гибридных клеточных линиях, могут быть проверены на присутствие ДНК-маркеров или путем сравнительного картирования генов. Хотя в отношении секвенирования генома крупного рогатого скота был достигнут значительный прогресс, этого нельзя сказать об овцах и козах. Существует настоятельная потребность в РГ-картировании локусов качественных признаков (ЛКП), коррелируемых с устойчивостью к болезням и продуктивностью (надой молока и качество туш и шерсти). Если производить инвестиции в эти технологии, а также в проведение анализов с использованием фосфора-32, серы-35, метионина серы-35 и иода-125 для мониторинга продуктивности и воспроизводства, то станет возможным добиться улучшения показателей работы.

### **Е.3. Борьба с насекомыми-вредителями**

#### **Е.3.1. Облучение рентгеновскими лучами для стерилизации насекомых**

109. Продолжающиеся трудности с получением и перевозкой изотопных облучательных установок делают все более актуальной оценку рентгеновского излучения в качестве альтернативы гамма-излучению. Благодаря усовершенствованию карусельной системы и применению новых контейнеров, изготовленных из смолы, усиленной углеродным волокном, в которых используются стальные фильтры, был достигнут прогресс в работе над адаптацией рентгеновской облучательной установки RS2400 для стерилизации насекомых, в результате чего коэффициент равномерности дозы (КРД) составил менее 1,3. Кроме того, пересмотр программы борьбы с насекомыми-вредителями позволяет выбирать заранее определенное количество энергии для оказания воздействия на насекомых.

110. Для оценки относительной эффективности как систем облучения рентгеновскими лучами, так и систем гамма-излучения на качество насекомых, которые являются целью применения метода стерильных насекомых (МСН), использовались биоанализы. Куколки плодовой мухи одного возраста облучались с применением одинаковых номинальных доз в рентгеновской облучательной установке или гамма-облучательной установке, а затем оценивались в одинаковых условиях в отношении сравнительных коэффициентов появления взрослых особей, выживаемости и стерильности. Для оценки различий в обработке в имитированных полевых условиях проводились также осуществляемые в инсектариях полевые тесты в отношении конкуренции при спаривании самцов, облученных гамма-лучами, и самцов, обработанных рентгеновскими лучами. При проведении после обработки дозиметрических процедур определялись фактические дозы, полученные куколками<sup>17</sup>. Предварительные данные по *Bactrocera cucurbitae* (восточная дынная муха), *Ceratitis capitata* (средиземноморская плодовая муха) и *Anastrepha fraterculus* (южно-американская плодовая муха), которые составляют значительную часть плодовых мух-вредителей в Азии, Африке и Северной и Южной Америке, в отношении уровня остаточной плодовитости и появления и

---

<sup>17</sup> Информацию о стерилизации насекомых и о доступе к базе данных по стерилизации насекомых можно найти на <http://www-naweb.iaea.org/nafa/ipc/index.html>.

поведения нормальных взрослых особей свидетельствуют об отсутствии различий в каждом из трех видов между гамма-лучами и рентгеновскими лучами.

### **Е.3.2. Борьба с мухой цеце с помощью МСН**

111. Продолжают предприниматься усилия по оказанию содействия африканским государствам-членам в передаче МСН для борьбы с мухой цеце в приоритетных районах. Они охватывают Эфиопию (*Glossina pallidipes*), Квазулу-Натал в Южной Африке и Мозамбике (*G. austeni* и *G. brevipalpis*), а также Сенегал, где у правительства есть программа, направленная на ликвидацию *G. palpalis* в регионе Нияйеса, расположенном к северо-востоку от Дакара, где отмечается высокая плотность поголовья скота.

112. Сбор исходных энтомологических данных в Сенегале, который позволил при помощи современных средств пространственного анализа информации, математического моделирования и генетики популяций разработать точные карты распространения мухи цеце, показал, что популяция мухи цеце в регионе Нияйеса полностью изолирована от остального пояса распространения мухи цеце. Это дает возможность создать устойчивую зону, свободную от мухи цеце. Обследования показывают, что одним из важнейших компонентов комплексного подхода будет МСН; пробные выпуски стерильных мух, происходящих из Буркина-Фасо, запланированы на начало 2009 года.

## **Е.4. Качество и безопасность пищевых продуктов**

### **Е.4.1. Прослеживаемость в качестве подхода к контролю за загрязнителями пищевых продуктов и повышению безопасности пищевых продуктов**

113. Использование агрохимикатов, таких как пестициды и ветеринарные лекарственные препараты, имеет жизненно важное значение для сельскохозяйственного производства, особенно с учетом потребности в повышении продуктивности для реагирования на нынешний глобальный продовольственный кризис. Однако, остатки этих веществ в пищевых продуктах, а также другие природные загрязнители и вещества, загрязняющие окружающую среду, такие как микотоксины и стойкие органические загрязнители, создают угрозу для здоровья человека и могут служить препятствиями для торговли сельскохозяйственной продукцией. Усугубляют проблемы загрязнения пищевых продуктов и глобальные факторы, такие как изменение климата, а также виды практики растениеводства и животноводства.

114. Осуществление контроля за этими опасностями требует применения комплексного подхода, охватывающего всю цепочку производства пищевых продуктов, что зависит от применения руководящих принципов для сведения рисков к минимуму и механизмов обратной связи для обеспечения эффективности средств контроля. Важный элемент этого подхода – это способность прослеживать пищевые продукты вплоть до источника их происхождения – прослеживаемость – с целью облегчения принятия корректирующих мер при обнаружении загрязнения. Изотопные методы обладают явными преимуществами в этой области, и при использовании в сочетании с обычной технологией их можно применять как для обеспечения надежности механизмов прослеживаемости, так и в методологии мониторинга загрязнителей в пищевых продуктах. Даже когда вопрос о безопасности пищевых продуктов не является первостепенным, возможность установления происхождения пищевых продуктов и их



подлинности путем применения методов отношений стабильных изотопов может иметь важное значение для стран-экспортеров, поскольку товары из тех или иных конкретных регионов могут иметь существенные дополнительные преимущества. Изотопные методы можно уникальным образом использовать для анализа факторов окружающей среды, повлиявших на загрязнение продуктов питания, что, с учетом прогнозируемых темпов изменения климата, приобретает все большее значение.

115. Методы сравнительного измерения стабильных изотопов, таких как стронций, оказались отличными средствами прослеживания происхождения множества пищевых продуктов. Относительное содержание изотопов стронция в растениях регулируется изотопным составом стронция в среде произрастания растения. Измерение отношений изотопов стронция в растении дает "фингерпринтинг" места происхождения. Это подтверждено как в отношении продуктов растительного происхождения (например, спаржи), так и продуктов животноводства, где профиль изотопа стронция в молоке соотносится с местом выпаса крупного рогатого скота. Для получения дополнительных данных аналогичным образом можно использовать и соотношения других изотопов, такие как водород/дейтерий/тритий, азот-14/азот-15, углерод-13/углерод-12 и кислород-18/кислород-16.

## **Е.5. Улучшение сельскохозяйственных культур**

116. Индуцированные мутанты с желательными характеристиками играют важную роль в увеличении производства продовольственных культур<sup>18</sup>. В последние годы быстрый прогресс в молекулярной биологии привел к тому, что информация, касающаяся генетического строения живых организмов, стала доступна широкой общественности. В нынешнюю "эпоху геномики" ученые расшифровывают генетический код все большего числа организмов, включая сельскохозяйственные культуры.

117. Особую ценность представляет собой применение методов, ускоряющих природную мутацию, усиливая или подавляя генетические признаки для производства улучшенных сортов сельскохозяйственных культур. С индуцирования мутаций упор переносится на традиционное расширение генетической базы сельскохозяйственных культур, используемых для селекции, включая исследования в области молекулярной биологии, что привело к существенной активизации научной работы, связанной с индуцированным мутагенезом сельскохозяйственных культур.

118. Нынешняя тенденция повышения уровней эффективности селекции с применением индуцирования мутаций заключается в стратегическом объединении соответствующих аспектов новейших технологий в рамках этих процессов. Ниже приводится обзор таких стратегий, одна из которых касается ускоренного определения подвергшихся мутации частей генетического строения для первичных исследований, а другая – органичной интеграции биотехнологий при получении и определении мутантов.

---

<sup>18</sup> Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>) или на веб-сайте <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html>

### **Е.5.1. Распознавание и выяснение функций генов с использованием индуцированных мутантов**

119. Традиционная стратегия в отношении индуцированных мутаций в улучшении сельскохозяйственных культур, известная как "прямая" генетика, предусматривает реконструкцию ролей генов на основе наблюдения за модифицированными характеристиками мутантов. При доступности информации из области молекулярной биологии становится обычным работать в "обратном" направлении, начиная с исследований модификаций на молекулярном уровне и соотнося эти модификации с измененными характеристиками в сельскохозяйственных культурах.

120. Эта более новая стратегия, известная как "обратная" генетика, исходит из наличия популяций имеющих хорошие характеристики мутантных запасов основных сельскохозяйственных культур, таких как рис, кукуруза, ячмень и пшеница. Были разработаны протоколы, позволяющие значительно расширить масштабы процедур, с тем чтобы можно было иметь возможность одновременно выяснять информацию о тысячах мутантов для мутаций в целевых регионах этого генетического строения. "Обратная" генетика стала важнейшим средством, используемым при обнаружении и выяснении функций генов.

### **Е.5.2. Комплексные технологии усиленного индуцирования мутаций**

121. Главные цели повышения эффективности обычного применения индуцирования мутаций включают получение больших мутантных популяций и скорейшее распознавание желательных мутантов. Прогресс в клеточной и тканевой биологии, особенно в том, что касается использования способности каждой отдельной клетки воспроизводить целое растение (явление, известное под названием "тотипотентность"), позволяет быстро генерировать большие мутантные популяции.

122. В асептических условиях в лабораторных пробирках можно выращивать десятки тысяч мутантов, и после извлечения из них ДНК либо проверять их на наличие определенных признаков (например, устойчивость к болезнетворным токсинам, солеустойчивость) в пробирке, либо выяснять информацию о мутациях в заранее определенных частях генетического строения с использованием нейтральных молекулярно-биологических методов. В любом случае имеет место значительное сокращение размеров оцениваемой в полевых условиях популяции. Это дает экономию времени и сберегает людские и финансовые ресурсы. Современные тенденции в проведении исследований связаны с объединением этих средств в отношении основных сельскохозяйственных культур в пакеты технологий, что повышает эффективность селекции с применением индуцирования мутаций.

## **Е.6. Устойчивое рациональное использование земли и водных ресурсов**

### **Е.6.1. Понимание роли микроорганизмов в формировании качества и плодородия почв в меняющихся климатических условиях<sup>19</sup>**

123. Концентрации микробов играют важную роль в плодородии почв в силу разложения остатков сельскохозяйственных культур, навоза скота и находящихся в почве органических веществ. Эти микробы зачастую подвергаются воздействию вариаций в характере распределения количества осадков и температурном режиме в результате изменения климата. Последние достижения в использовании таких стабильных изотопов, как углерод-13, азот-15 и кислород-18, в качестве биомаркеров для характеристики концентраций микробов и их взаимодействий с процессами, происходящими с питательными веществами в почве и находящимися в почве органическими веществами, известном как исследования с применением стабильных изотопов (ИСИ), имеют важное значение для рационального использования почвы-воды-питательных веществ.

124. ИСИ помогают понять взаимодействия между концентрациями микробов в почве и их конкретные функции в секвестрации почвенного углерода, стабилизацию находящихся в почве органических веществ, плодородие почв и устойчивость почв, а также продуктивный потенциал почв в отношении устойчивой интенсификации растениеводства и животноводства.

125. В ходе ИСИ предусматривается внедрение меченного стабильными изотопами субстрата в концентрацию микробов в почве для наблюдения за поведением субстрата. Это позволяет вести прямое наблюдение за ассимиляцией субстрата, которая будет происходить в минимально возмущенных концентрациях микроорганизмов. Микроорганизмы, активно участвующие в конкретных метаболических процессах, можно распознавать в условиях, приближающихся к тем, которые существуют на местах.

### **Е.6.2. Индикаторы стабильных изотопов, с помощью которых производится контроль за выбросами парниковых газов из сельскохозяйственных угодий**

126. Потери азота в результате внесения химических удобрений, орошения с использованием сточных вод и применения навоза могут привести к загрязнению воды. Их можно свести к минимуму за счет образцовой практики управления фермерским хозяйством, применяя соответствующие азотные удобрения, и за счет использования приводных районов или постоянно влажных низин в лощинах холмистых склонов, где ведутся сельскохозяйственные работы, для удаления нитратов из поверхностных и подземных стоков. Нитраты, перемещающиеся через приводные или влажные низины, подвергаются процессу воздействия находящихся в почве микробов, при котором происходит превращение нитратов в закись азота ( $N_2O$ ) и молекулярный азот ( $N_2$ ). Закись азота – это стойкий парниковый газ, и в потенциале – истощающий озон газ. Недавно нитраты с добавлением азота-15 были успешно использованы для

---

<sup>19</sup> Информацию о работе по рациональному использованию почвы и воды см. на <http://www-naweb.iaea.org/nafa/swmn/index.html>.

количественной оценки не только удаления нитратов, но и интенсивности образования  $N_2O$  и  $N_2$  в постоянно влажных низинах в сельскохозяйственных водосборах. При использовании азота-15 было установлено, что влажные низины являются источником выбросов  $N_2O$ , когда концентрации нитрата  $NO_3$  являются неограниченными, но могут эффективно функционировать в качестве поглотителя  $N_2O$ , когда концентрации  $NO_3$  являются низкими. Благодаря этим выводам можно прийти к сбалансированному решению в отношении использования влажных низин, найдя компромисс между целями в области качества воды (удаление  $NO_3$ ) и механизмами контроля за выбросами парниковых газов (минимизация выбросов  $N_2O$ ) за счет применения специально сооружаемых обводных каналов для регулирования нагрузок нитратов на влажные низины в ходе паводков. Это позволяет увеличить период задержания воды и улучшает условия ограничения образования нитратов, не приводя к формированию выбросов  $N_2O$ . Без использования азота-15 планирующие сельскохозяйственные органы и распорядители ресурсов не смогут дифференцировать выбросы  $N_2O$  и  $N_2$  от удаления  $NO_3$ .

## **Г. Здоровье человека**

### **Г.1. Связи между визуализацией в ядерной медицине и фармацевтической промышленностью**

127. Визуализация все чаще используется в качестве биомаркера для оценки разработок новых лекарств. Поскольку в развивающихся странах проводится все больше клинических испытаний разработок лекарственных средств, важнейшее значение имеют инновационные подходы к разработке новых фармацевтических препаратов.

128. Визуализация играет основополагающую роль в открытии лекарств и скорейшем внедрении клинических применений. В этой связи фтордезоксиглюкоза (ФДГ), а также позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) в сочетании с компьютерной томографией (КТ) эффективны не только для диагностики и определения стадий заболеваний, но и для мониторинга и количественной оценки пользы лечения. Применительно к разработке лекарств это может выразиться в установлении и группировании пациентов, которые подходят для клинического испытания, а затем и в количественной оценке результатов лечения. Сочетание стратификации и диагностики, или количественная оценка преимуществ лечения в исследованиях, а также при клиническом лечении - это важное новое достижение, которое, в потенциале, имеет огромную пользу как для фармацевтической промышленности, так и, в конечном счете, для пациентов<sup>20</sup>.

### **Г.2. Применение ядерных методов в интересах содействия деятельности в области питания**

129. Все более широкое распространение неинфекционных заболеваний создает серьезные трудности в области здравоохранения. Промышленно развитые страны, а также страны с переходной экономикой вынуждены иметь дело с все более

---

<sup>20</sup> Часто задаваемые вопросы о ПЭТ и смежных технологиях, см. на <http://www-naweb.iaea.org/nahu/nm/faqanswers.asp#pet>.

расширяющимся кругом заболеваний, включая диабет 2-го типа и сердечно-сосудистые заболевания. Развивающиеся же страны - наоборот, сталкиваются с одновременным существованием недоедания и избыточного питания. Это, возможно, важнейший вопрос в глобальной повестке дня в области здравоохранения, который дополнительно осложняется наблюдаемым во многих странах кризисом, связанным с ВИЧ/СПИД.

130. Самые уязвимые группы населения – это беременные и кормящие женщины, а также их младенцы. Проведившиеся в недавнем времени технические разработки были посвящены определению утраченного звена в питании и здоровье младенцев, т.е. оценке композиционного состава тела для лучшего понимания качества роста в период младенчества и его связи с развитием впоследствии хронических заболеваний. Ядерные методы дают в руки столь необходимые инструменты для оценки композиционного состава тела, в частности при оценке общего количества воды в организме с помощью методов стабильных изотопов и костной массы с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Эти методы представляют собой самую высокую имеющуюся норму оценки композиционного состава тела и, таким образом, используются для проверки альтернативных методов, таких как биоэлектрический импедансный анализ.

131. Строение и функционирование человеческого тела в раннем возрасте определяют состояние здоровья человека как в краткосрочном, так и в долгосрочном плане. "Окна возможностей", в течение которых на биологию физического роста и состояние здоровья может повлиять питание (позитивно или негативно), включают имеющее решающее значение время быстрого роста и развития плода, а также период первых двух лет жизни ребенка. Принятие эффективных мер в области питания в течение этих "окон" – это наилучшая возможность для предотвращения долгосрочных последствий недоедания в первые годы жизни, включая ограниченный внутриутробный рост и остановку роста. Существует настоятельная потребность в разработке эффективных стратегий для осуществления вмешательства в течение этого решающего периода жизни для предупреждения развития в последующем хронических заболеваний<sup>21</sup>.

### **Г.3. Достижения в количественной визуализации и внутренней дозиметрии в целях ядерной медицины**

132. Постепенно, хотя и медленно, реальностью терапевтической ядерной медицины становится долгожданная разработка "чудодейственного средства", которое при узконаправленном воздействии убивает раковые клетки, не повреждая здоровые ткани. Этот принцип успешно находил свое подтверждение на протяжении более чем 50 лет использования радиоизотопа иод-131 для лечения различных заболеваний щитовидной железы. В настоящее время благодаря биоинженерным разработкам были получены более усовершенствованные вещества для лечения более широкого круга заболеваний. Несколько из них были одобрены для клинического применения, а еще большее их число проходят в настоящее время клинические испытания, причем некоторые – при непосредственном участии Агентства. Одним из главных аспектов при оценке

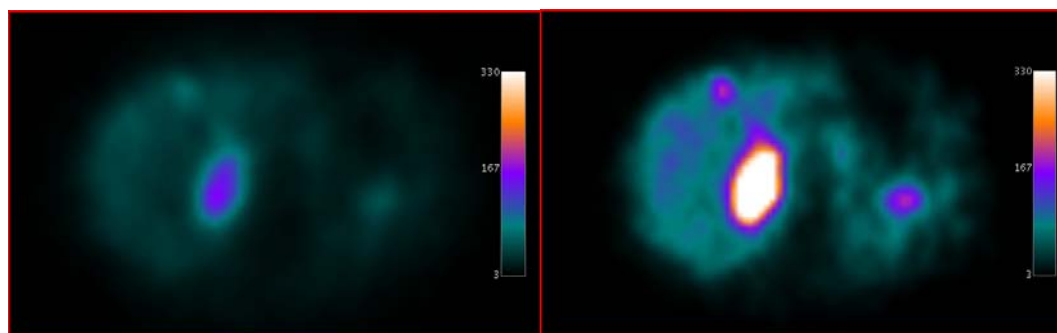
---

<sup>21</sup> В целях оказания помощи государствам-членам в определении нутриционного уровня МАГАТЭ, ЮСАИД, HarvestPlus и ИЛСИ создали Целевую группу по радиоиндикаторам витамина А, с тем чтобы подготовить документы по надлежащему применению методологии радиоиндикатора (стабильного изотопа) витамина А и справочник по методам изотопного разбавления витамина А для оценки статуса и интервенционных программ.

эффективности этих новых меченных радиоактивными изотопами соединений является количественная оценка распространения и определение поглощенной дозы облучения, которая была направлена на очаг заболевания, а также на жизненно важные здоровые ткани.

133. Изображения, полученные с помощью ядерной медицины, используются либо для задач обнаружения, таких как выявление дефектов перфузии, либо для задач количественной оценки, таких как оценка фракции изгнания из левого желудочка, стандартизованных величин поглощения или поглощенной органом дозы<sup>22</sup>. За последние 15 лет был отмечен значительный прогресс в разработке методов точной количественной оценки изображений, полученных с помощью ядерной медицины. Однако распространение этих методов в клиниках осуществлялось медленными темпами, и пока что не существует стандартизованных методов количественной оценки данных, полученных с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (СПЕКТ) или с помощью ПЭТ.

134. Получение изображений, пригодных для задач количественной оценки, зачастую требует дополнительной обработки в сравнении с данными, используемыми для визуальной интерпретации. Результатом этой дополнительной обработки зачастую становится улучшение разрешающей способности и контрастности и уменьшение артефактов (рис. F-1). Эти усовершенствования в изображении могут зачастую, но не всегда, выразиться непосредственно в повышении эффективности выполнения задач по обнаружению. Еще одно преимущество использования таких изображений заключается в том, что они могут обеспечить более высокую последовательность измерений полей, сводя к минимуму изменения в зависимости от центров визуализации, оборудования для визуализации, протоколов сканирования и пациентов.



*Рис. F-1. Метаиодбензилгуанидин, содержащий иод-123 (I-123 МИБГ): трансаксиальный срез верхнего отдела брюшной полости у пациента с рецидивирующей феохромоцитомой. На изображении слева показано исходное изображение, полученное с помощью СПЕКТ. Изображение справа – это изображение, скорректированное с учетом данных о плотности ткани, полученных с применением КТ. Такого рода коррекция полученного с помощью СПЕКТ изображения может дать лучшую диагностическую информацию и помочь в более точной количественной оценке поглощения радиофармпрепарата. (Медицинская школа Пизанского университета, Италия)*

<sup>22</sup> Дополнительная информация имеется на <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html>.

## **Г.4. Совершенствование применений в радиационной онкологии**

135. Терапия с применением комбинированных методов (хирургия, радиотерапия, химиотерапия, таргетная лекарственная терапия) повышает выживаемость при большинстве распространенных видов рака. Достижения в наружной лучевой терапии привели к повышению требований в отношении точности воздействия дозы на пациентов. Подход трехмерной конформной лучевой терапии (3М-КЛТ) считается стандартом при большинстве показаний к применению лучевой терапии с лечебной целью, и во многих центрах существенное число пациентов проходят лечение с применением лучевой терапии с модуляцией интенсивности дозы (ЛТМИ).

136. В клиническую практику вводятся лучевая терапия с ускоренным круговым облучением, инновационные комбинированные томографически-терапевтические установки, стереотаксическая лучевая терапия тела с режимом индивидуального дозирования и четырехмерная радиотерапия под визуальным контролем (РВК) (при которой происходит увеличение объема воздействия для охвата всего движения опухоли). Их применение дает возможность добиться максимальной конформности и в максимально щадящем режиме воздействовать на жизненно важные структуры организма за счет сведения к минимуму дозы, получаемой прилегающими нормальными тканями. Усовершенствованию процесса клинической радиотерапии способствует наличие улучшенного программного обеспечения для систем записи и проверки качества.

137. Для разработки высокопрецизионных применений с щадящим воздействием на нормальные ткани все чаще используются протонные центры. В большинстве случаев для того, чтобы доказать превосходство этих подходов в сравнении с обычной лучевой терапией, потребуется больше свидетельств.

138. Кроме того, информационные технологии привнесли изменения в методы работы в области радиационной онкологии. Во всем мире на уровне больниц быстро проводится внедрение общенациональных регистрационных сведений об историях болезней и электронных массивов данных о пациентах<sup>23</sup>.

## **Г. Окружающая среда**

### **Г.1. "Горячие частицы" в окружающей среде**

139. При оценке доз излучения и воздействия радиации на окружающую среду важную роль играют выброшенные радиоактивные частицы. "Горячие частицы" представляют собой небольшие радиоактивные объекты, содержащие значительное число радионуклидов, иногда с весьма высоким уровнем радиоактивности. "Горячие

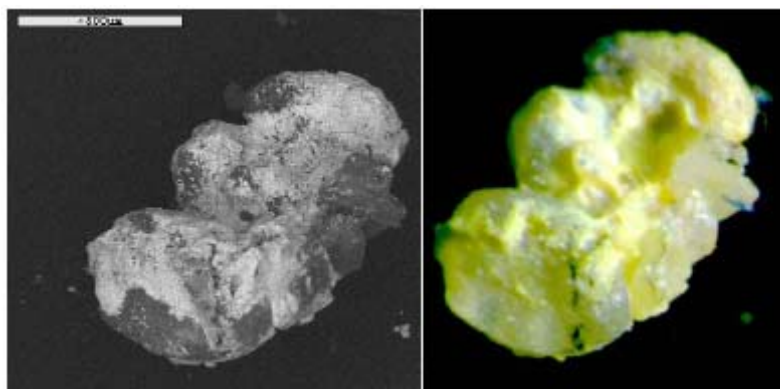
---

<sup>23</sup> В апреле 2009 года на организованной МАГАТЭ Международной конференции по достижениям в радиационной онкологии МАГАТЭ призвало ведущих мировых производителей оборудования для радиационной онкологии производить более надежную, менее дорогостоящую и переносную аппаратуру для радиационной онкологии, с тем чтобы ее можно было использовать в бедных и сельских районах.

частицы", которые происходят из нескольких возможных источников, включая испытания ядерного оружия, выбросы в рамках ядерного топливного цикла и аварии, связанные с ядерным материалом, имеют гораздо более высокие уровни радиоактивности, чем материал в балк-форме или семейство других частиц, рассеянных из этих источников.

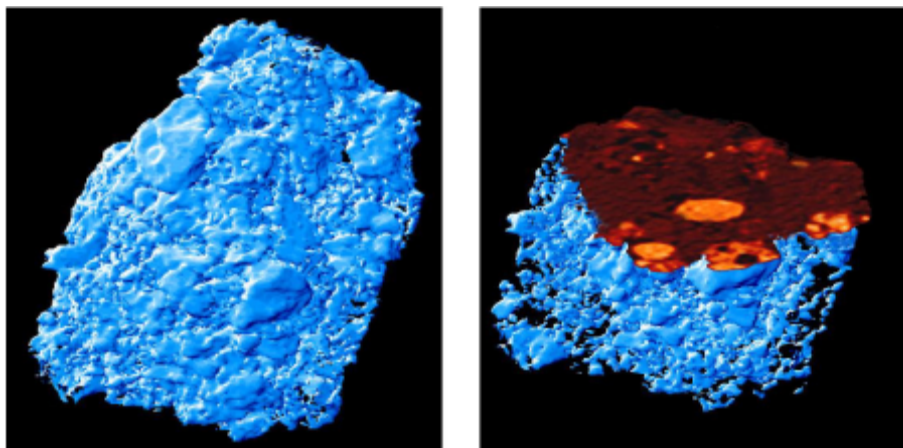
140. Свойства и экологическое поведение радионуклидов, связанных с частицами, определяются их составом и матричной структурой, при этом оба фактора имеют отношение к параметрам источника и зависят от характера выброса (рис. G-1 и рис. G-2). Подвижность, экологическое поведение, биодоступность, а также воздействия радионуклидов на окружающую среду и здоровье людей определяются в основном такими свойствами частиц, как микроструктура, химический состав и видообразование. Хотя в настоящее время имеется немного информации о воздействии горячих частиц на окружающую среду, она приобретет более важное значение по мере появления новых методов определения характеристик таких частиц.

141. Из-за их небольшого размера, зачастую в диапазоне нескольких микрометров и меньше, аэрозольные горячие частицы трудно изолировать. Был разработан новый простой метод для ручной обработки и изоляции одиночных частиц размером в диапазоне от 1 мкм и выше с использованием оптического микроскопа и даже еще меньших частиц непосредственно в растровом электронном микроскопе (рис. G-1). После изоляции частица может быть исследована путем использования целого ряда методов, которые могут применяться в микроскопическом масштабе, таких, как растровая электронная микроскопия, детектирование альфа-частиц, лазерная абляция, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), и других методов масс-спектрометрии, а также рентгеновской микротомографии.



*Рис. G-1. Полученные с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) (слева) и оптического микроскопа (справа) микроснимки песчинки, которые иллюстрируют форму и покрытие частицы обедненным ураном, источником происхождения которого стал пожар на складе боеприпасов в Эль-Дохе, Кувейт. Масштаб: 500 мкм (Линд).*





*Рис. G-2. Микроскопическая рентгеновская абсорбционная томография окисленной топливной частицы, выброшенной во время пожара, который последовал после взрыва при аварии на реакторе Чернобыльской АЭС. Объемное изображение томографических срезов, показывающее поверхность частицы (слева), и компьютеризированный (виртуальный) срез объемного изображения, раскрывающего его неоднородную внутреннюю структуру (справа). Ширина частицы: около 300 мкм (Салбу и др., 2000 год).*

## **G.2. Онлайн доступ к всемирным данным о радиоактивности морской среды**

142. Основная цель Информационной системы по морской среде (MARIS) (<http://maris.iaea.org>), которая содержит более 110 000 вводов данных, состоит в обеспечении легкого доступа к данным о радиоактивности морской среды. Кроме того, MARIS является международным источником справочных материалов по уровням и тенденциям поведения радионуклидов в морской среде, в сравнении с которыми можно оценивать любые дальнейшие данные о возможных выбросах в морскую среду. Использование MARIS предоставляет возможность высшим должностным лицам, определяющим политику в прибрежных районах, принимать решения на основе подробных данных.

143. MARIS содержит прошлые и нынешние данные о радиоактивности большинства значительных антропогенных и природных радионуклидов в мировых океанах и морях, глубоких водоемах, прибрежных зонах и морской воде, а также в твердых частицах, отложениях и морской биоте. Источником этих данных являются публикуемые научные документы и доклады, а также базы данных, разработанные в институтах или в рамках научных программ в государствах-членах.

144. Данные, содержащиеся в MARIS, используются в исследованиях фоновых условий для оценки уровней, инвентарных количеств и тенденций поведения радионуклидов в морской среде; для оценок экологического воздействия; а также для оценки доз от морских цепочек облучения. В сочетании с океанографическими данными, данные, содержащиеся в MARIS, используются для улучшения определения характеристик океанических течений, процессов водяного столба и динамики отложений, а также для изучения судьбы загрязнителей в морской среде путем использования радионуклидов в

качестве аналогов. Данные, содержащиеся в MARIS, используются также для подтверждения обоснованности моделей циркуляции и дисперсии в региональных и глобальных масштабах и являются полезными для, например, прогнозирования изменений климата и подкисления мирового океана.

### **G.3. Мечение стабильными изотопами в исследованиях пищевой сети морских продуктов**

145. Соединения стабильного изотопа углерода широко используются для изучения источников органического углерода в экосистемах и их применения в пищевой сети. Понимание путей переноса углерода и питательных веществ между окружающей средой и морскими организмами имеет ключевое значение для расширения знаний о функционировании биогеохимических циклов и экосистем. Намеренное добавление такого радиоизотопного индикатора, как соединение, меченное углеродом-13, в контролируемых условиях, и отслеживание его прохождения через различные компоненты позволяет получить ценную информацию. В результате этого можно установить, какие пути являются значительными для определения роли важных организмов в рамках конкретной экосистемы. На рис. G-3 схематически показано распределение атома дельта-углерода-13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) в окружающей среде. Путем анализа характеристик липидных биомаркеров в определенных группах организмов и присутствия изотопных сигнатур в этих веществах в настоящее время представляется возможным установить взаимодействия, характерные для конкретных видов, с помощью использования стабильных изотопов на молекулярном уровне. В сочетании с математическим моделированием такие данные могли бы также использоваться для оценки производительности и коэффициента оборота фотосинтетических продуктов различных морских организмов. Агентство оказывает государствам-членам помощь в отслеживании переноса соединений, меченных и не меченных углеродом-13, через морские пищевые цепочки, такие как кораллы, планктон и бактерии, на основе анализа изотопных отношений конкретных соединений путем газовой хроматографии - изотопной масс-спектрометрии (GC-IRMS). Применение этой недавно разработанной ядерной технологии будет способствовать улучшению понимания взаимодействий пищевой сети и круговорота углерода в морской среде.

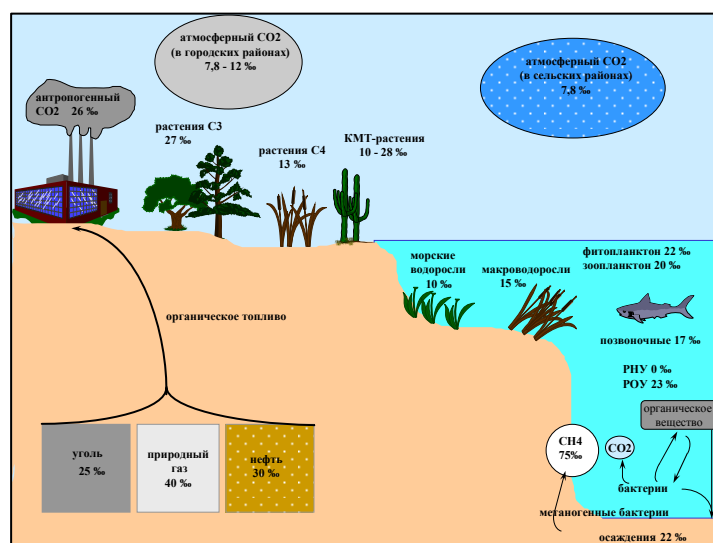


Рис. G-3. Схема распределения  $\delta^{13}C$  в окружающей среде (рисунок изменен по изданию Tolosa, Oceanis, т. 30 № 2, 2004 год, стр. 239–259) (КМТ = кислотный метаболизм толстянковых; RNU = растворённый неорганический углерод; ROU = растворённый органический углерод).

#### G.4. Применение радиоизотопных индикаторов для измерения воздействий подкисления мирового океана на биологическую вариативность морской среды в Арктике и бассейне Средиземного моря

146. Проведение моделирующих исследований четко показало, что полярные регионы особенно чувствительны к совокупным последствиям изменения климата в результате повышения температуры и подкисления мирового океана. С целью лучшего прогнозирования их воздействий на биологическую вариативность морской среды Агентство разработало портативные экспериментальные установки для изучения подкисления мирового океана. Они используются с применением изотопа кальция-45 для измерения скорости кальцификации в крылоногих моллюсках и съедобных моллюсках из региона Арктики, которые являются основными продуктами питания обитающих в этом районе китов, моржей и морских птиц. В рамках экспериментальных облучений, которые имитируют условия подкисления, прогнозируемые в будущем для арктических вод, Агентство оказывает государствам-членам поддержку в определении ими заметных коэффициентов снижения скорости кальцификации в крылоногих моллюсках, подобных тем, которые уже измерены для рифообразующих кораллов.

147. Агентство оказывает государствам-членам помощь в проведении исследований с применением радиоизотопных индикаторов в отношении промысловых пород рыб, каракатиц и осьминогов в Средиземном море с целью определения воздействий подкисления мирового океана на их ранние этапы жизни. Это внесет дальнейший вклад в понимание и прогнозирование степени изменения морских ресурсов в результате подкисления мирового океана, а также социально-экономических последствий этих изменений.

## **Н. Водные ресурсы**

148. Помимо увеличения населения и роста экономики, непостоянство и изменение климата являются значительными факторами стресса, воздействующими на пресноводные ресурсы. Почти каждый третий человек на земле зависит от водных ресурсов рек, питаемых ледниками и талым снегом. Повышение изменчивости и уязвимости речных стоков в более теплом климате (вследствие увеличения потоков талой воды и изменения моделей выпадения осадков) вызовет необходимость внесения изменений в практику водопользования и управления водными ресурсами. Поскольку развитие обуславливает необходимость увеличения производства возобновляемой и невозобновляемой энергии, использование воды в энергетических целях будет также важным фактором для учета в планировании водных ресурсов. Административное реагирование с целью удовлетворения возросших потребностей в пресноводных ресурсах будет, по-видимому, включать повышение зависимости от уже интенсивно эксплуатируемых ресурсов подземных вод.

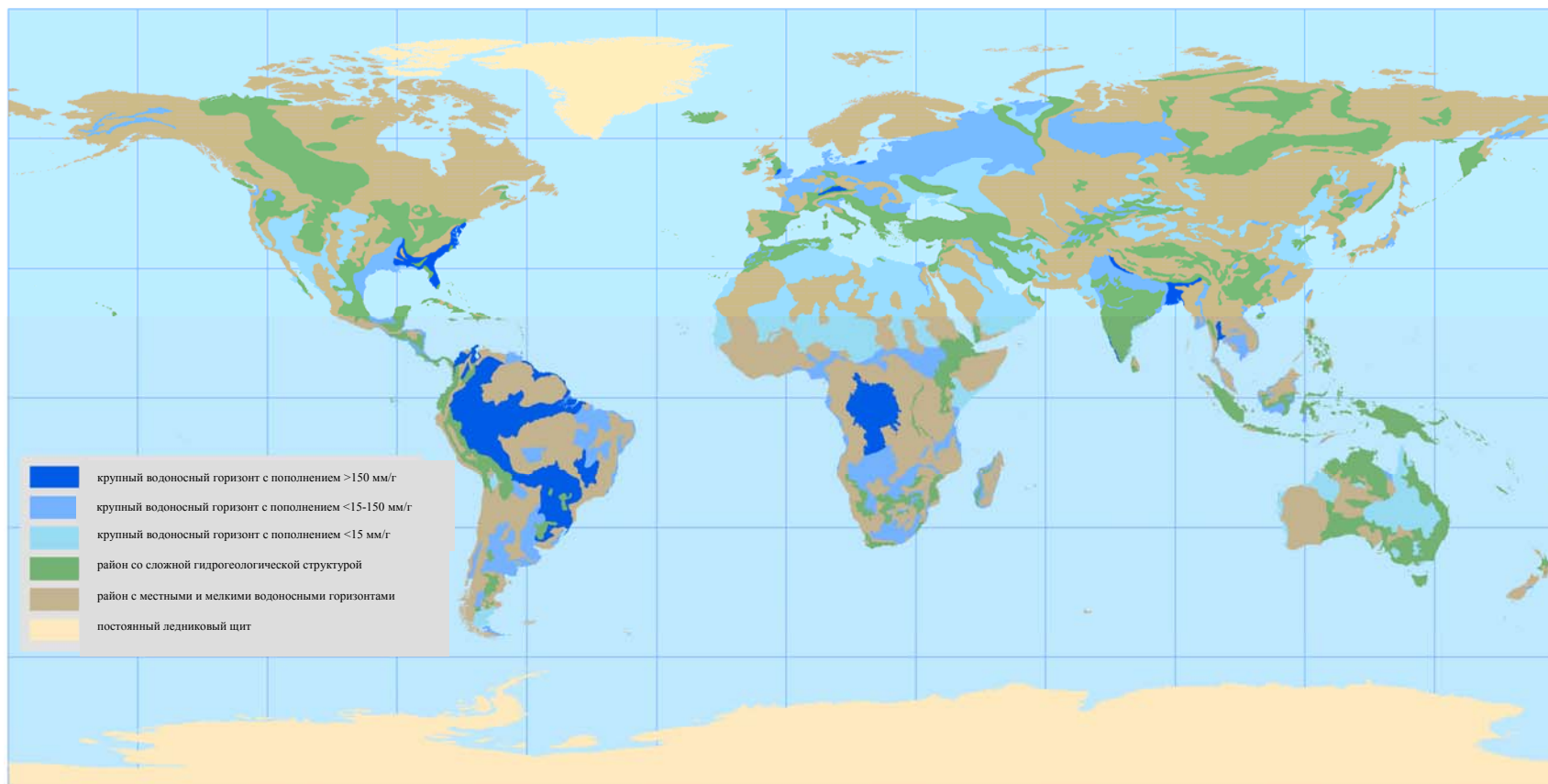
149. Кроме того, существует значительный пробел в нашем понимании характера распределения и возобновляемости ресурсов подземных вод. Одним заметным усилием в улучшении оценки подземных вод является Всемирная программа гидрогеологического картографирования и оценки (WHYMAP) (<http://www.whymap.org/>). Это совместное усилие, предпринимаемое программой по водным ресурсам Агентства, Международной гидрологической программой ЮНЕСКО (МГП), Федеральным институтом геофизических наук и природных ресурсов Германии (BGR), Международной ассоциацией гидрогеологов и другими организациями, было начато в 1999 году с целью сбора, сопоставления и визуализации гидрогеологической информации и данных о ресурсах подземных вод в глобальных масштабах. На карте ресурсов подземных вод (рис. Н-1), которая была представлена в 2008 году на 33-м Международном геологическом конгрессе в Осло, дается описание трех основных типов залегания подземных вод: в крупных водоемах с региональными водоносными горизонтами (голубой цвет); в районах со сложной гидрогеологической структурой (зеленый цвет); и в районах с местными и мелкими водоносными горизонтами (коричневый цвет). Штрихи каждого цвета обозначают скорость возобновления или пополнения ресурсов подземных вод. На рис. Н-2 показана карта региональных ресурсов подземных вод в южных районах Азии.

150. Применение изотопных методов помогает легче определять водоносные горизонты, содержащие стоялую воду (и без пополнения или с незначительным пополнением), и водоносные горизонты со свежей водой (и со значительным пополнением)<sup>24</sup>. Когда стоялые подземные воды используются для орошения, хозяйственного или промышленного водоснабжения, это считается добычей ресурсов, поскольку выкаченные подземные воды не будут замещены естественным образом в нынешних климатических условиях. Такими водоносными горизонтами необходимо управлять более внимательно, чем водоносными горизонтами, получающими современное пополнение. Разработка водоносных горизонтов осуществляется во многих странах по всему миру.

151. Наличие обоснованных оценок водных ресурсов, в том числе подземных вод, поможет значительно улучшить водообеспеченность. Проведение национальных оценок повысит способность стран лучше использовать свои совместные региональные ресурсы путем усовершенствования программ стратегических действий. Агентство планирует установить партнерские отношения для укрепления своих технических возможностей и дополнения полномочий и видов деятельности других учреждений, таких как Всемирный банк, ПРООН и ВМО, с целью разработки типового научного подхода к оценке водных ресурсов, который может быть воспроизведен во многих государствах-членах. В рамках этих партнерских усилий под названием I-WAVE (МАГАТЭ-Улучшение водообеспеченности) будет разработан всеобъемлющий подход к оценке водных ресурсов, в том числе ресурсов поверхностных и подземных вод, а также оказана помощь в развитии усовершенствованных стратегий приспособления к изменению климата.

---

<sup>24</sup> Дополнительная информация содержится в соответствующих разделах последнего выпуска Ежегодного доклада МАГАТЭ (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>).



*Рис. Н-1. Мировые ресурсы подземных вод, WHYMAP (масштаб 1:50 000 000). Голубым цветом обозначены системы подземных вод в крупных водоемах; зеленым цветом обозначены системы подземных вод со сложной гидрогеологической структурой; и коричневым цветом обозначены районы с местными и мелкими системами водоносных горизонтов. Оттенки трех основных цветов отражают скорости возобновления (пополнения) подземных вод.*

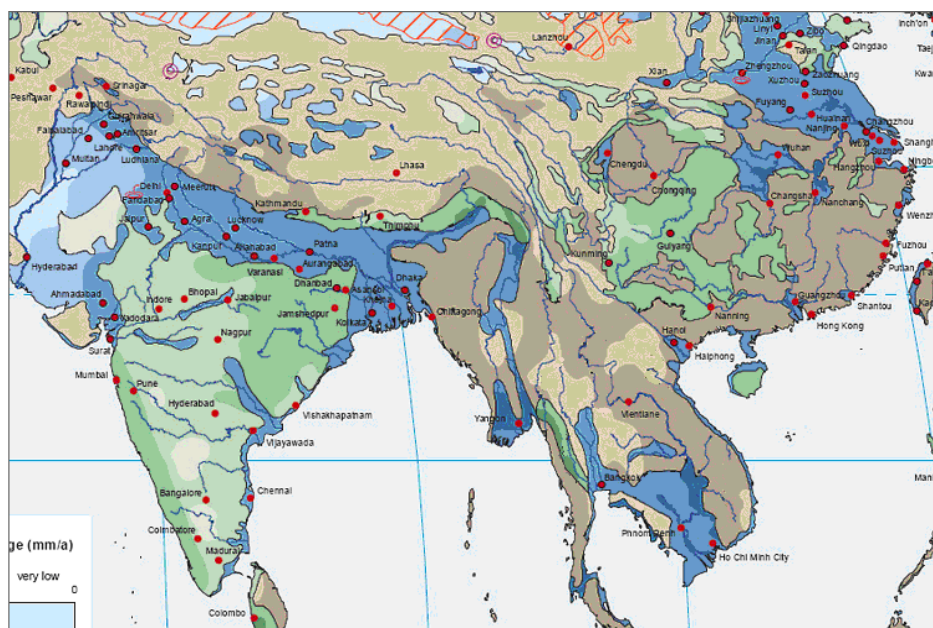


Рис. Н-2. Деталь карты (масштаб 1:25 000 000) подземных водных ресурсов, на которой показаны южные районы Азии. Голубым цветом обозначены системы подземных вод в крупных водоемах; зеленым цветом обозначены системы подземных вод со сложной гидрогеологической структурой; и коричневым цветом обозначены районы с местными и мелкими системами водоносных горизонтов. Оттенки трех основных цветов отражают скорости возобновления (пополнения) подземных вод.

## I. Производство и обеспечение наличия радиоизотопов

152. Глобальный спрос на радиоизотопы и источники излучений возрастает в связи с их использованием в медицине и промышленности. На 6-й Международной конференции по изотопам, которая состоялась в мае 2008 года в Сеуле, Республика Корея, был подчеркнут факт существования высокого спроса на дальнейшие разработки и международное сотрудничество. Создается Всемирный совет по изотопам (ВСИ) для обеспечения надлежащего форума для всех заинтересованных сторон с целью содействия устойчивому и безопасному производству и применению радиоизотопов.

153. Увеличилась мощность производства радиоизотопов с использованием циклотронов. Растет также число центров по производству медицинских радиоизотопных индикаторов для ПЭТ-визуализации. В ответ на растущий спрос на фтордезоксиглюкозу (ФДГ) в настоящее время разрабатываются настольные циклотроны (~7,5 МэВ) наряду с усовершенствованными модулями синтеза радиоизотопных индикаторов на основе микрофлюидальных технологий, которые, как ожидается, будут внедрены в крупных медицинских учреждениях во всем мире. Кроме того, поскольку некоторые радиоизотопные индикаторы для ПЭТ характеризуются более высокой пригодностью для визуализации рака, им все больше отдается предпочтение по сравнению с ФДГ, которая также накапливается в местах сосредоточения инфекции.



154. В результате увеличения числа центров ПЭТ и ПЭТ-КТ повысилась польза применения полученных на базе генератора радиоизотопных индикаторов для ПЭТ с целью проведения всесторонней визуализации. Например, галлий-68, приготовленный из германия-68, используется для диагностической визуализации рака, а рубидий-82, приготовленный из стронция-82, используется для визуализации перфузии миокарда.

155. Радионуклидная терапия в настоящее время переживает рост в связи с достижением прогресса в определении целей на основе принципов молекулярной ядерной медицины. Соответственно ожидается, что значительно возрастет спрос на терапевтические радионуклиды. Внедрение методологии использования электрохимического генератора, разработанной для подготовки высокочистого иттрия-90 (при содействии, оказанном в рамках проекта координированных исследований Агентства), как ожидается повысит обеспеченность иттрием-90 на основе процесса дистанционной безопасной эксплуатации в модуле. Лютеций-177, согласно прогнозам, станет таким же важным, как и иод-131, и некоторые страны уже начали или планируют средне- и крупномасштабное производство этого радиоизотопа.

## **I.1. Надежность поставок молибдена-99**

156. Перебои в прошедшем году с поставками радиоизотопа молибден-99, источника технеция-99m, широко используемого для диагностической визуализации, стали причиной задержек обслуживания больных в центрах ядерной медицины во всем мире. Потребности в молибдене-99 (около 450 000 ГБк в неделю) обычно удовлетворяются за счет облучений в пяти реакторах в Бельгии, Канаде, Нидерландах, Франции и Южной Африке, а технологическая обработка осуществляется четырьмя промышленными установками. Более 95% всего молибдена-99 производится с использованием мишеней из высокообогащенного урана (ВОУ). В январе 2009 года Национальная академия наук США, в рамках предоставленных конгрессом полномочий, выпустила доклад по технико-экономическому обоснованию использования мишеней из низкообогащенного урана (НОУ)<sup>25</sup>.

157. Число реакторов, которые производят молибден-99, ограничено, и все они принадлежат к старому поколению и должны быть остановлены для технического обслуживания и ремонта, что привело к возникновению проблем на нескольких производственных площадках. В августе 2008 года повторный пуск одного реактора (в Петтене, Нидерланды) после останова для технического обслуживания и ремонта был отложен из-за возникновения неожиданной технической проблемы. Это произошло одновременно с запланированными остановами для технического обслуживания и ремонта двух других реакторов в Европе, а также с радиологическим инцидентом на обрабатывающей установке, в результате чего возник значительный дефицит молибдена-99 в Европе и других регионах. Озабоченности по поводу надежности поставок молибдена-99 и других радиоизотопов, производимых на базе реакторов, усилились к маю 2008 года в результате завершения проекта, связанного с реактором MAPLE в Канаде, и понимания того, что, по-видимому, никакие новые реакторы не начнут производство по крайней мере до 2015 года.

158. Ближайший по времени дополнительный крупномасштабный источник молибдена-99, как представляется, поступит от Австралийской организации по ядерной науке и технике (АНСТО). В США достигнут значительный прогресс в подготовке планов и поиске ресурсов для исследовательского реактора Университета штата Миссури (MURR), который должен стать

---

<sup>25</sup> [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12569](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12569)

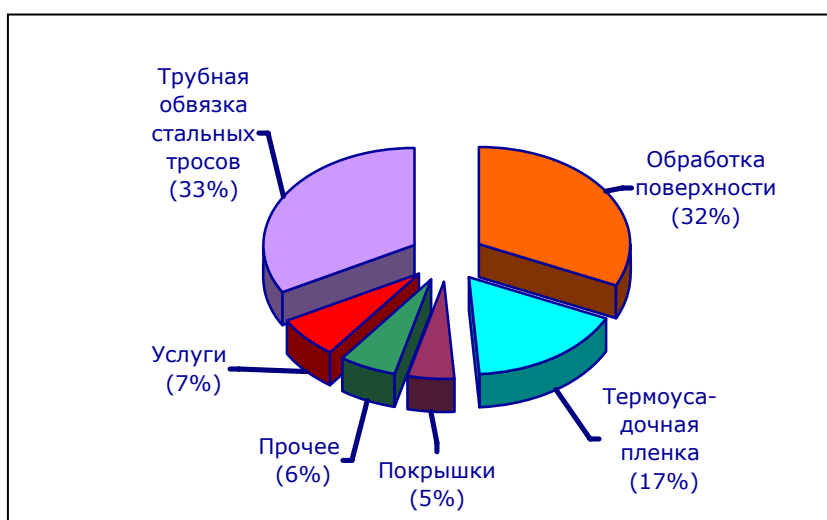


национальным американским производителем с целью удовлетворения 30–50% спроса, однако для его создания потребуется 3–4 года после получения одобрения. В стадии монтажа находятся две другие новые установки для производства молибдена-99 – в Египте (поставленная компанией "ИНВАП", Аргентина) и в Пакистане (поставленная компанией "Изотоп технолоджис", Германия), однако точные производственные планы еще должны быть объявлены.

159. Существует насущная необходимость географического расширения широко разветвленных потенциальных возможностей облучения в реакторах, а также увеличения числа обрабатываемых установок для производства молибдена-99. Правительственная поддержка и более тесное сотрудничество между производителями изотопов, в том числе между государственными и частными партнерами, потребуются для обеспечения использования подходящих реакторов с целью облучения мишеней из НОУ для производства молибдена-99.

## I.2. Электронно-пучковая обработка

160. Сильноточные электронные пучковые (ЭП) ускорители используются в различных отраслях промышленности для усиления физических и химических свойств материалов (рис. I-1) и сокращения нежелательных загрязнителей. В настоящее время в коммерческом использовании находятся более 1400 сильноточных ЭП блоков, которые обеспечивают многочисленным продуктам добавленную стоимость на миллиарды евро. Это является дополнением к почти 1000 слаботочных ускорителей, используемых в исследовательских целях.



*Рис. I-1. Типичная схема рынков конечного использования промышленных электронных пучковых ускорителей. Основное использование приходится на тросы, термоусадочные материалы и обработку поверхностей (более 80%), при этом прогнозируется расширение применений для медицинских изделий и пищевых продуктов в будущем.*

161. С появлением сильноточных (5–10 МэВ) и высокомошных (до примерно 700 кВт) ЭП ускорителей преобразование мощности электронного пучка в рентгеновское излучение является в настоящее время коммерчески конкурентоспособной альтернативой промышленному использованию гамма-лучей. На рис. I-2 показаны контейнеры, которые способны содержать пищевые продукты, такие как коробки с говяжьим фаршем или ящики с одноразовыми медицинскими изделиями, и готовы к размещению перед двухметровыми водоохлаждаемыми рентгеновскими мишенями из тантала.



*Рис. 1-2. Контейнеры с материалами (например, одноразовыми медицинскими изделиями, пищевыми продуктами) перемещаются для обработки рентгеновскими лучами из электронных пучков с силой тока 5–7,5 МэВ.*

162. В то время как расширяется использование слаботочных (менее 500 кэВ) электронных пучковых (ЭП) ускорителей для сушки красок, покрытий и клеев для удаления летучих органических соединений, существует необходимость создания передвижных ЭП установок для таких применений, как обработка промышленных сточных вод, дезинсекция семян и дезодорирование воздуха. Новой областью применения слаботочных электронных пучковых ускорителей является дезинфекция поверхностей, например колб для ПЭТ и упаковок для асептических наполнителей.

### **1.3. Лучевая обработка в нанонауке**

163. Радиационные технологии могут использоваться для создания и определения характеристик новых материалов в наномасштабах. Радиационные методы имеют существенное значение для нанотехнологии, потому что пучок может быть сфокусирован в несколько нанометров и сканироваться с высокой скоростью. Новая технология была продемонстрирована в Нидерландах: многократная электронно-пучковая бестрафаретная литография, в которой используется до 13 000 параллельных электронных пучков для непосредственного воспроизведения схем электронных цепей на платах, что устраняет необходимость применения трафаретов. В этом методе сочетается весьма высокая разрешающая способность и глубина поля электронного пучка с высокой производительностью, в результате чего обеспечивается экономически эффективный способ производства чипов следующего поколения.

164. Слаботочная ионно-пучковая литография работает таким же образом, как и электронно-пучковая литография, с тем преимуществом, что вдоль траектории происходит минимальное рассеяние и почти одинаковая потеря энергии. Недавно был разработан новый метод, в котором используется апертура переменного размера, которая формирует фокус луча на образце. Путем сочетания различных размеров апертуры с различными положениями образца можно в короткое время получить экспозицию сложных структур. Пучок тяжелых ионов с энергией ускорения более 1 МэВ может использоваться для изготовления ионитовых мембран из полимеров и, в свою очередь, использоваться в качестве образца для синтеза микроструктур и наноструктур в форме проволок. Таким способом были изготовлены одиночные или множественные магнитные, проводимые и сверхпроводимые нанопроволоки и нанотрубки. Так же, как и в электронной промышленности, электронно-пучковые и ионно-пучковые технологии используются в качестве инструментальных средств для изучения физических явлений в размерах наномасштабов для поддержки исследований в области физики, нанофотоники, нанобиотехнологии и нанобиомедицины.