

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

**В.И. Бойко, Ф.П. Кошелев,  
О.В. Селиваникова, Д.Г. Демянюк**

**ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПРОБЛЕМЫ  
ТЕРРОРИЗМА. НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ  
ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Издательство  
Томского политехнического университета  
2008

УДК 621.039.32.034: 621.039.553.4

ББК 31.46-02я73

Б77

**Бойко В.И.**

Б77 Ядерные технологии. Проблемы терроризма. Нераспространение ядерных материалов: учебное пособие / В.И. Бойко, Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, Д.Г. Демянюк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 450 с.

ISBN 5-98298-189-3

В учебном пособии систематизирован материал по истории создания ядерного оружия; даны сравнительные характеристики различных источников энергии; описаны состояние и перспективы ядерной энергетики в мире; рассмотрены ядерные технологии, используемые в мирных целях на благо человечества; изложены основные проблемы ядерного, радиационного и информационно-экологического терроризма.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами и обработанным ядерным топливом, обеспечение безопасности и противодействие терроризму» и предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению «Физико-технические проблемы атомной энергетики».

УДК 621.039.32.034: 621.039.553.4

ББК 31.46-02я73

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

*Рецензент*

Доктор физико-математических наук, профессор ТГАСУ  
*В.Н. Старенченко*

ISBN 5-98298-189-3

© Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Селиваникова О.В.,  
Демянюк Д.Г., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Среди величайших достижений XX века, наряду с освоением космоса, геной и полупроводниковой технологиями, открытие атомной энергии и овладение ею занимает особое место.

Человечество получило доступ к громадному и потенциально опасному источнику энергии, который нельзя ни закрыть, ни забыть о нем, – его нужно использовать не во вред, а на пользу человечеству.

У атомной энергии две «родовые» функции: военная – разрушительная и энергетическая – созидательная. По мере уничтожения устрашающих ядерных арсеналов, созданных в период холодной войны, атомная энергия будет проникать внутрь цивилизованного общества в виде тепла, электричества, медицинских изотопов, ядерных технологий, нашедших применение в промышленности, космосе, сельском хозяйстве, археологии, судебной медицине и т. д.

Атомная отрасль и прогресс науки едины и обеспечивают безопасность России – являются гарантом ее будущих научно-технических достижений.

Перед Россией в соответствии с международными договоренностями о нераспространении оружия массового поражения стоят огромные проблемы. Необходимо сбалансировать противоречивые задачи: стимулировать продвижение национальных ядерных технологий на мировом рынке и не допустить их использование в террористических целях.

Ядерные технологии в последнее время привлекают все большее внимание террористов.

Терроризм в любых формах своего проявления превратился в одну из самых опасных по своим масштабам, непредсказуемости и последствиям общественно-политических и моральных проблем, с которыми человечество вошло в XXI столетие.

Терроризм уже приобрел международный, глобальный характер. Еще сравнительно недавно о терроризме можно было говорить как о локальном явлении, а в 80–90 гг. XX столетия он уже становится универсальным феноменом. Глобализация и все более широкая интернационализация терроризма – это неоспоримый факт, перед которым сегодня оказалось человечество. Озабоченность мирового сообщества обусловлена ростом террористической активности, многочисленностью жертв и огромным мате-

риальным ущербом, наносимым террором, также и тем, что благодаря развитию новейших технологий, имеющих двойное назначение, деятельности средств массовой информации и глобальных компьютерных сетей (Интернет) у всё большего числа людей появляется возможность получить, а затем и использовать информацию о создании самых изощренных средств уничтожения и способах их применения. Не застрахованы от вспышек терроризма ни высокоразвитые, ни отстающие в экономическом и социальном развитии страны с различными политическими режимами и государственным устройством. Только за последнее время людские и материальные потери в связи с террористическими актами зафиксированы во многих странах мира.

Возможности совершения террористами актов химического, биологического, ядерного, радиационного, информационно-экологического терроризма различны. Главной особенностью террористической активности в мире в последнее время стал ее беспрецедентный рост.

Ядерный и радиационный терроризм являются наиболее опасными с точки зрения совокупности последствий (политических, военных, социальных, экологических, психологических).

Рассмотрены основные типы терроризма и комплексный подход к защите ЯТЦ. Показано, что для повышения защищенности общества от угроз радиационного террора, как и для повышения способности общества преодолеть его последствия с минимальными потерями, необходима, наряду с созданием современных технических средств и принципов организации физической защиты ядерных материалов, активная просветительская работа с общественностью.

Рассмотрены основные формы информационно-экологического терроризма применительно к ядерным технологиям. Приведены примеры фактов осуществления информационно-экологического терроризма. Подчеркивается, что борьба со всеми разновидностями терроризма должна вестись как на национальном, так и на международном уровне.

Таким образом, все актуальнее становятся темы нераспространения оружия массового уничтожения, технологий двойного назначения как основных объектов внимания террористических групп, стремящихся создать через их выбор наибольший социальный резонанс.

Учебное пособие составлено на основе обзора отечественных и зарубежных информационных источников. В нём систематизирован материал по истории создания ядерного оружия в США и СССР, рассмотрены физические основы и типы ядерного оружия; сравнительные характеристики различных источников энергии; ядерные материалы, вызывающие интерес террористов.

Особое внимание уделено чрезвычайным ситуациям, связанным с террористической активностью, специфике ядерного терроризма и защите от него.

Расширение сферы использования ядерных технологий в мирных целях на благо человечества привело к необходимости рассмотрения основных проблем радиационного и информационно-экологического терроризма.

Учебное пособие содержит большой фактический материал в виде рисунков и таблиц, отражающих информацию по рассматриваемым вопросам.

Авторы отмечают активное участие студентки ФТФ Н.С. Лежниной в подготовке материалов глав 7, 10 в рамках научно-исследовательской работы; заранее признательны всем читателям, которые пришлют свои замечания и пожелания.

# 1. ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ

В мире существует два вида ядерного топливного цикла: замкнутый и открытый. В соответствии с ними есть два подхода к обращению с ОЯТ (облученное ядерное топливо). При замкнутом цикле ОЯТ поступает на переработку с извлечением урана, плутония и других ценных компонентов и возвращением их в ядерный цикл. При открытом цикле осуществляется длительное хранение ОЯТ с его последующим захоронением без переработки.

## **Открытый (разомкнутый) ЯТЦ**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство  $U_3O_8$ -оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) обогащение  $UF_6$ ;
- 5) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 6) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 7) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 8) окончательное захоронение ОЯТ, в будущем, в геологических формациях.

## **Замкнутый ЯТЦ с использованием регенерированного урана**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) обогащение  $UF_6$ ;
- 5) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 6) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 7) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 8) переработка ОЯТ с выделением урана, плутония и РАО;
- 9) возвращение регенерированного урана на стадии конверсии и обогащения;
- 10) размещение плутония в спецхранилищах;
- 11) окончательное захоронение РАО, в будущем, в геологических формациях.

## **Замкнутый ЯТЦ с использованием регенерированного урана и плутония**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 5) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 6) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 7) переработка ОЯТ с выделением урана, плутония и РАО;
- 8) возвращение регенерированного урана на стадии конверсии и обогащения;
- 9) изготовление смешанного уран-плутониевого оксидного топлива (МОХ-топлива) на основе обогащенного урана и плутония;
- 10) окончательное захоронение РАО, в будущем, в геологических формациях.

Существуют две противоположные точки зрения.

Замкнутый ЯТЦ нецелесообразен, т. к. при химической переработке ОЯТ возникают такие технологические и политические проблемы: сложность и радиационная опасность переработки и захоронения ОЯТ и РАО, вероятность хищения ядерных материалов для создания ядерного взрывного устройства.

Замкнутый ЯТЦ необходим, т. к. ОЯТ содержит ценные ядерные материалы, имеющие огромный энергетический потенциал; замкнутый ЯТЦ дает возможность обеспечения растущих национальных энергетических потребностей за счет атомной энергии.

В настоящее время имеют возможность осуществить замкнутый ЯТЦ в промышленном масштабе такие страны, как США, Великобритания, Франция, Россия, Китай, Германия, Япония и Индия.

В данной главе сравним относительную опасность ядерного и угольного топливных циклов.

### ***Относительная опасность воздействия на окружающую среду ядерного и угольного топливных циклов***

Перспективы роста современного энергопроизводства, истощение традиционных технически и экономически доступных энергоресурсов и загрязнение окружающей среды порождают проблему выбора оптимальной структуры энергетики. Причем возникает необходимость не только в оценке экономической стоимости и конкурентоспособности различных способов производства энергии, но и в прогнозировании относительной опасности для окружающей среды, здоровья человека.

Выбор для сравнения циклов двух типов энергетики – ЯТЦ и УТЦ – обусловлен тем, что в ближайшие десятилетия они будут преобладающими способами производства энергии.

Как правило, ядерный топливный цикл (ЯТЦ) и угольный топливный цикл (УТЦ) включают в себя такие стадии, как начальная (добыча, переработка и транспортирование топлива), основная (производство энергии АЭС или ТЭС), заключительная (транспортирование и переработка топлива и отходов, удаление отходов). ЯТЦ может включать возврат (рецикл) невыгоревшего топлива на повторное использование.

При сравнении ядерного и угольного топливных циклов обобщена имеющаяся отечественная и зарубежная информация.

В этом сравнении учитываются все стадии цикла (не только работа АЭС и ТЭС) и все возможные факторы воздействия как радиационного, так и нерадиационного воздействия.

### ***Ядерный топливный цикл (ЯТЦ)***

*При рассмотрении нерадиационных факторов воздействия ЯТЦ в качестве исходных выбраны данные, отвечающие современному уровню технологии.*

Удельная потребность ЯТЦ в природном уране 200...240 т на 1 ГВт·год. Содержание урана в руде 0,2 %, степень извлечения урана из руды и при ее переработке – 95 %. 50 % руды добывают закрытым (в рудниках) способом, 50 % – открытым (в карьерах). 80 % обогащенного урана получают газодиффузионным методом, 20 % – газовыми центрифугами.

Ущерб для здоровья человека оценен по трем показателям.

1. Число случаев преждевременной смерти (от рака, в результате облучения; от профессиональных заболеваний, не связанных с облучением; от несчастных случаев; от рака, вызванного у населения химическими канцерогенами).
2. Потеря трудоспособности, чел·лет.
3. Сокращение продолжительности жизни, чел·лет.

Рассмотрим ЯТЦ для АЭС с легководным реактором на тепловых нейтронах электрической мощностью 1 000 МВт.

#### *Начальная стадия*

#### ***Добыча и переработка урановой руды***

При добыче топлива из земли извлекается  $1,2 \cdot 10^5$  т урановой руды и несколько миллионов тонн пустой породы на 1 ГВт·год.

В результате переработки руды количество шлама равно примерно  $1,3 \cdot 10^5$  т.



Стоимость природного урана 40...90 долл. за 1 кг. Расход земли: временно отчуждаемая – 20...60 га, постоянно отчуждаемая – 2 га.

Общая эффективная эквивалентная доза за счет добычи урановой руды составляет 1,7 чел·Зв/ГВт·год.

В настоящее время разработана технология получения урана без предварительной добычи руды, путем его подземного выщелачивания из рудного тела. При такой технологии на поверхность земли извлекается гораздо меньше руды и отчуждается во много раз меньше земли.

Число случаев преждевременной смерти – 0,13.

Потери трудоспособности – 2,6 чел·лет.

Сокращение продолжительности жизни – 3,9 чел·лет.

Раковые заболевания с летальным исходом  $1,4 \cdot 10^{-2}$ /ГВт·ч, без летального исхода –  $3,4 \cdot 10^{-2}$ /ГВт·ч, генетические повреждения –  $2,8 \cdot 10^{-2}$ /ГВт·ч.

Конверсия оксида в гексафторид – 6...11 долл. на 1 кг урана.

Тепловая мощность источника энергии, необходимая для данной стадии, – 15 МВт.

#### *Разделение, обогащение*

Стоимость работы разделения 80–130 долл/кг ЕРР (единица работы разделения).

Нерadioактивные отходы – до 400 т/год.

Выход радиоактивных отходов при конверсии уранового концентрата в UF<sub>6</sub>: <sup>235</sup>U – 4 кг/ГВт·год, <sup>238</sup>U – 595 кг, при обогащении: <sup>235</sup>U – 0,1 кг; <sup>238</sup>U – 297 кг.

Эффективная эквивалентная доза – 1,1 чел·Зв/ГВт·год.

Временное отчуждение земли – 0,15 га.

Число случаев преждевременной смерти – 0,001.

Потери трудоспособности – 0,2 чел·лет.

Сокращение продолжительности жизни – 0,3 чел·лет.

Раковые заболевания с летальным исходом –  $1,2 \cdot 10^{-6}$ , без летального исхода –  $2,9 \cdot 10^{-6}$ , генетические повреждения –  $5,7 \cdot 10^{-8}$ .

Тепловая мощность источника энергии – 97 МВт.

#### *Изготовление топлива*

Потребность 30...50 тонн UO<sub>2</sub> (3 %).

Стоимость изготовления топлива 200...350 долл/кг U.

Временное отчуждение земли 0,02 га.

Выбросы <sup>235</sup>U – 4,2 кг, <sup>238</sup>U – 59 кг.

Ущерб для здоровья такой же, как и на этапах разделения и обогащения.

Тепловая мощность источника энергии 0,5 МВт.

## *Основная стадия Производство энергии*

АЭС ( $N_{эл} = 1000$  МВт) потребляет за кампанию (3 года) 50...80 т  $UO_2$  (3 %).

Потребление в год ~25 т  $UO_2$  (~200 т природного урана).

Накапливает в год среднеактивных и низкоактивных отходов – 800 т ( $160$  м<sup>3</sup>), высокоактивного облученного ядерного топлива – 25...30 т ( $2,5$  м<sup>3</sup>).

Радиоактивные отходы (РАО) составляют не более 3 %.

Себестоимость электроэнергии 2...4 цент/кВт·ч.

Временное отчуждение земли составляет 30...60 га при охлаждении градирнями, постоянно отчуждаемая земля – 0,02 га.

Коллективная эквивалентная доза для персонала составляет 4 чел·Зв/ГВт·год, для населения 0,4...1,8 чел·Зв/ГВт·год. Раковые заболевания с летальным исходом –  $3,2 \cdot 10^{-2}$ , без летального исхода –  $7,6 \cdot 10^{-2}$ , генетические повреждения –  $6,4 \cdot 10^{-3}$ .

Число случаев преждевременной смерти – 0,11.

Потери трудоспособности – 2,2 чел·лет.

Сокращение продолжительности жизни – 3,3 чел·лет.

В 2000 г. себестоимость электроэнергии АЭС США – 1,83 цент/кВт·ч.

В облученном топливе с выгоранием 36 МВт·сут/кг содержится 204 кг урана-235; 28,3 т урана-238; 280 кг нуклидов плутония; 1,1 т продуктов деления; 15 кг нептуния-237 и 6 кг трансплутониевых элементов.

Мощность тепловых сбросов в конденсатор составляет 67 % от общей тепловой мощности.

Мощность тепловых сбросов через трубу в атмосферу – 0.

Стоимость сооружения 0,8...0,9 млрд долл.

Затраты на топливообеспечение – 12 млн долл.

## *Заключительная стадия Транспортировка и хранение ОЯТ*

В ЯТЦ не приходится иметь дело с перевозкой значительных грузов на большие расстояния. Транспортировка ОЯТ обходится в 20...80 долл/кг. Хранение ОЯТ – 40...200 долл/кг.

Коллективная доза и ущерб здоровью персонала и населения очень незначительны и могут не приниматься во внимание.

Переработка ОЯТ обходится в 720 долл/кг.

Захоронение остеклованных ВАО – 100...580 долл/кг.

Количество РАО на 1 ГВт·год:

Хвосты от переработки руд –  $(3...6) \cdot 10^4$  м<sup>3</sup>.

Отходы с низкой и средней удельной активностью –  $600 \text{ м}^3$ , высокой –  $4 \text{ м}^3$ .

Коллективная эквивалентная доза  $2 \dots 10 \text{ чел} \cdot \text{Зв} / \text{ГВт} \cdot \text{год}$ .

Число случаев преждевременной смерти –  $0,1 \text{ чел} \cdot \text{лет}$ .

Сокращение продолжительности жизни  $2,5 \text{ чел} \cdot \text{лет}$ .

Потери трудоспособности –  $1,5 \text{ чел} \cdot \text{лет}$ .

Раковые заболевания с летальным исходом –  $1,6 \cdot 10^{-1}$ , без летального исхода –  $4 \cdot 10^{-1}$ , генетические повреждения –  $3,3 \cdot 10^{-2}$ .

#### *Демонтаж реакторов*

Доля затрат на снятие с эксплуатации АЭС  $7 \dots 15 \%$  от капитальных вложений.

Доза облучения не более  $0,4 \text{ чел} \cdot \text{Зв} / \text{ГВт} \cdot \text{год}$ .

Число случаев преждевременной смерти –  $0,003$ .

Потеря продолжительности жизни  $0,03 \text{ чел} \cdot \text{лет}$ .

Сокращение трудоспособности –  $0,015 \text{ чел} \cdot \text{лет}$ .

Общая стоимость АЭС –  $1 \dots 2 \text{ млрд долл}$ .

#### *Угольный топливный цикл (УТЦ)*

В УТЦ основное воздействие на население обусловлено выбросами в атмосферу на этапе производства электроэнергии. Остальные этапы цикла обуславливают воздействие главным образом на персонал, занятый добычей, переработкой и транспортировкой топлива.

#### *Добыча, транспортировка, углеобогащение*

Для получения  $1000 \text{ МВт} \cdot \text{год}$  электроэнергии необходимо  $4 \text{ млн т}$  угля (стоимость: Россия –  $600 \text{ руб} / \text{т}$ , США –  $15 \text{--} 30 \text{ долл} / \text{т}$ ).

Сбросы в открытые водоемы –  $850 \text{ т}$  взвешенных веществ, минеральных солей –  $16 \text{ тыс. т}$ .

Нарушение земельных угодий –  $40 \text{ га}$ .

Выдача на поверхность  $8 \text{ млн м}^3$  вскрышных и вмещающих пород.

Выброс в атмосферу  $7 \text{ тыс. т}$  твердых веществ.

Использование воды в качестве технологической и транспортирующей среды –  $1,71 \text{ млн м}^3$ .

Выбросы угольной пыли –  $60 \text{ тыс. т}$ .

Выбросы метана  $10 \dots 40 \text{ тыс. т}$ .

Суммарная коллективная доза облучения шахтеров –  $7 \text{ чел} \cdot \text{Зв}$  (в 4 раза больше, чем от воздействия ЯТЦ).

Унос пыли при транспортировке составляет  $12 \dots 4 \text{ тыс. т}$ . Около  $40 \%$  всех перевозок железнодорожного транспорта приходится на перевозки угля.

Требуется более  $144 \text{ тыс. вагонов (60 т)}$  в год.

Выход отходов обогащения 0,15...0,35 т на 1 т обогащенного угля.

**Общий ущерб на этих трех этапах:**

Преждевременная смерть – 12 чел·лет.

Потеря трудоспособности – 200 чел·лет.

Сокращение продолжительности жизни – 180 чел·лет.

### **Производство энергии**

Требуется более 4 млн т угля в год – 300 и более вагонов в сутки.  
Потребляется кислорода –  $5,5 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год.

Выбросы в атмосферу, т/год:

CO<sub>2</sub> – 10 000 000;

SO<sub>x</sub> – 124 400;

NO<sub>x</sub> – 34 000;

зола – 7 300.

Твердые отходы – 830 000 т/год.

Себестоимость электроэнергии 2,5...4 цент/кВт·ч.

Эффективная коллективная доза облучения для населения 4 чел·Зв/год, что существенно превышает дозу за счет выбросов АЭС аналогичной мощности.

Число случаев преждевременной смерти за счет облучения (выбросы ТЭС) – 0,055 и за счет заболевания нерадикационной этиологии – 360.

Сокращение продолжительности жизни 2,2 и 10<sup>4</sup> чел·лет, соответственно.

Потеря трудоспособности 1,4 и 7 200 чел·лет.

Мощность тепловых сбросов через трубу в атмосферу составляет 15 % от тепловой мощности и сбросов в конденсатор – 52 %.

Стоимость сооружения – 0,7 млрд долл.

Затраты на топливообеспечение – 0,3 млрд долл.

Итоговые удельные затраты – 1 млрд долл.

### **Отвалы**

Золошлаковые отвалы, образующиеся в результате работы ТЭС мощностью 1 000 МВт за год, занимают площадь 120...160 га и содержат более 830 тыс. т твердых отходов (зола – 650 тыс. т, шлак – 180 тыс. т).

Степень загрязнения окружающей среды золоотвалами зависит от состава золы, способа ее консервации, физико-географических и климатических условий места расположения.

Отвал содержит токсические элементы (мышьяк – 90 т, барий – 300 т, ртуть – 20 т, ванадий – 70 т), а также естественные радионуклиды (калий-40 – до 650 кг, уран-238 до 10 000 кг, радий-226 – до  $4 \cdot 10^{-2}$  г, свинец-210 – до 0,2 г).

Содержание естественных радиоактивных нуклидов в золе 500...9 000 Бк/кг.

Если удельная активность золы более 7 000 Бк/кг, то её причисляют к радиоактивным отходам.

Следует отметить, что, как в ЯТЦ, так и УТЦ, риск, обусловленный радиоактивными факторами, на фоне спонтанной смертности от рака, составляющей в большинстве стран около 1 500 случаев в год на 1 млн населения, представляется крайне незначительным (0,17 случая в год).

Под *внешней стоимостью топливного цикла* (ВСТЦ) понимают затраты, наложенные на общество и окружающую среду, которые не учитывают производители и потребители энергии, т. е. затраты в настоящее время, не включенные в рыночную стоимость.

ВСТЦ включает ущерб (полная экономическая стоимость вреда, связанная с физическим воздействием), наносимый естественной и техногенной окружающей среде: глобальное потепление, профессиональные заболевания, аварии, влияние газоаэрозольных и радиоактивных выбросов на здоровье населения, с/х культуры, леса, радиационные и нерадиационные воздействия на здоровье персонала.

Стадия производства энергии в ЯТЦ, в противоположность циклам УТЦ, не является доминирующим источником вредных выбросов в окружающую среду.

При определении экономической оценки воздействий использовались общие оценки стоимости среднестатистической жизни.

Анализ отечественных и зарубежных работ по экономическому анализу риска позволяет в настоящее время сделать вывод о том, что для обоснования и принятия нормативных значений параметров экономического анализа риска нет острой необходимости в дополнительных научных исследованиях. Эта задача может быть решена специалистами на основе уже имеющихся материалов.

В ряде зарубежных исследований разработаны экономические эквиваленты удельным экологическим ущербам от различных загрязнителей атмосферы. Например, стандартные экологические эквиваленты выбросам в атмосферу, разработанные в рамках программы TEMIS (Total Emission Model for Integrated System, Институт прикладной экологии, Германия, 1993), составляют: за одну тонну выбросов оксидов серы – 500 нем. марок, оксидов азота – 4 000 нем. марок, углекислого газа – 100 нем. марок.

Европейская комиссия (ЕК) официально опубликовала результаты крупного исследования, которые подтверждают, что внешние затраты ЯТЦ гораздо ниже аналогичных затрат в случае УТЦ.

Окончательные результаты исследования ExternE доказывают, что стоимость производства электроэнергии с использованием угля увеличилась бы в 2 (и более) раза при учете внешних затрат.

Средняя величина внешних затрат для УТЦ в пятнадцати рассматриваемых европейских странах составляет 4,1...7,3 цент/кВт·ч, для ЯТЦ – 0,4.

Оценка экономического ущерба с учетом парникового эффекта и без аварий (отн. ед.) для УТЦ составляет 60...100, для ЯТЦ – 1.

В случае ЯТЦ методология, применяющаяся для расчета внешних затрат, рассматривает полный топливный цикл, включая радиоактивные эмиссии и общее загрязнение окружающей среды, радиологическое воздействие на население, а также вероятность опасности.

Некоторые факторы, которые здесь количественно не оцениваются, должны значительно увеличить эколого-экономический эффект от развития атомной энергетики, по сравнению с энергетикой на ископаемом топливе: потребление кислорода ТЭЦ и природоохранные мероприятия для его восстановления, выбросы тяжелых элементов и нарастание парникового эффекта, последствия которого в настоящее время широко обсуждаются и ощущаются, временное или постоянное отчуждение земельных ресурсов.

### *Список литературы*

1. Пшакин Г.М., Гераскин Н.И., Муругов В.М. и др. Ядерное нераспространение. – Москва, 2006.
2. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерный топливный цикл. Проблемы решения: учебное пособие. – Томск, 2004.
3. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.

## 2. ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ

### 2.1. История создания ядерного оружия в США и СССР

Эффективность ядерного оружия – это основное условие сдерживания в крупномасштабных международных конфликтах, которые так и не привели к третьей мировой войне.

Реально у России от имперского могущества советских времен остался только... ядерно-ракетный щит, он же меч.

Юлий Борисович Харитон, выдающийся российский физик-ядерщик, писал: «Оглядываясь в прошлое, мы понимаем: среди начальных импульсов для американского и советского атомных проектов было и опасение, что фашистская Германия, обладающая перед войной наиболее передовыми и совершенными технологиями и первоклассной наукой, способна опередить всех в создании атомного оружия. Заявление Гитлера об оружии возмездия звучало зловеще.

На рубеже сороковых-пятидесятых годов физики-ядерщики, среди которых и блестящая плеяда советских физиков во главе с И.В. Курчатовым, сделали нечто большее и непреходящее – они открыли цивилизации дверь в новую эпоху. В этой эпохе атомная энергия определяет не только технологический уровень общества, но и влияет на культуру, политику и будущее. Значит, влияет на историю».

Открытие внутриядерной энергии в XX веке привело к созданию страшного оружия уничтожения, которое дало толчок невиданной до тех пор гонке вооружений.

В 1934 году итальянский физик Энрико Ферми проводил ряд опытов по поглощению нейтронов разными элементами, в том числе ураном. Облучение урана давало радиоактивные ядра с различными периодами полураспада. Ферми предположил, что эти ядра принадлежат трансурановым элементам, т. е. элементам с атомным номером выше 92.

В том же 1934 г. немецкий химик Ида Нодак подвергла критике предполагаемое открытие трансуранового элемента и высказала предположение о том, что под действием бомбардировки нейтронами ядра урана распадаются на ядра элементов с меньшими атомными номерами.

В 1939 г. в Германии была опубликована статья Гана и Штрассмана, доказывающая деление урана.

В 1939 г. Фриш и Лиза Мейнтер, работающие в лаборатории Нильса Бора, и Фредерик Жолио-Кюри в Париже опубликовали первые результаты своих работ по делению урана.

В это же время Жолио-Кюри, Фриш, Ферми экспериментально доказали взрывной характер расщепления ядер.

Вопросы, связанные с делением урана, волновали и советских ученых. С самого начала эту так называемую урановую проблему «возглавил» И.В. Курчатов.

В 1939–1940 гг. сотрудники Института химической физики Ю. Харитон и Я. Зельдович первыми в мире предложили расчет цепной ядерной реакции деления.

В этот же период ученые ЛФТИ К. Петржак и Г. Флеров обнаружили спонтанное деление ядер урана.

У большинства ученых-физиков уже не оставалось сомнения относительно возможности создания оружия большой разрушительной силы.

В конце 30-х годов в США оказалось немало ученых атомщиков, бежавших от преследований фашистов.

Среди ученых, оказавшихся в США, было несколько нобелевских лауреатов: Эйнштейн, Бор, Юнг, Ферми, Чэдвик, Комптон, а также Сегре, Сциллард, Вигнер, Теллер, Вайскопф, Хаутерман, Кисберри и др.

В 1939 году ученые во главе с А. Эйнштейном написали письмо президенту Рузвельту с просьбой ускорить атомные исследования, чтобы опередить нацистов в изготовлении атомной бомбы.

6 декабря 1941 г. Белый дом принял решение ассигновать крупные средства на создание атомной бомбы. Сам проект носил кодовое название «Манхэттенский проект». Руководителем проекта был назначен бригадный генерал Л. Гровс. Научную лабораторию возглавил Р. Опенгеймер, который и считается «отцом атомной бомбы». Проект был тщательно засекречен. Как указал сам Гровс, из 130 тыс. человек, занятых в осуществлении атомного проекта, только около нескольких десятков знали проект в целом. Ученые работали в обстановке слезки и строгой изоляции. Дело доходило буквально до курьезов: физик Г. Смит, возглавлявший одновременно два отдела, для разговора с самим собой должен был получать разрешение у Гровса.

Для создания бомбы был нужен уран-235 – редкий изотоп урана, содержащийся в природном уране в количестве 0,7 процента. Этот изотоп легко делится, чего лишен составляющий основную массу урана изотоп с атомным весом 238.

Критические массы урана-235 составляют около 50 кг, для плутония-239 – 13 кг, для урана-233 – 17 кг.



Следует отметить, что в то время один грамм урана-235 стоил один миллион долларов. «Манхэттенский проект» обошелся США в 25 млрд долл.

В настоящее время 1 кг природного урана стоит примерно 100...300 долл., 1 г урана-235 ~ 25 долл., 1 г плутония ~ 15 долл.

На создание ядерного оружия США за период 1941–1996 гг. истратил 5500 млрд долл.

Создание самого ЯО – 410 млрд долл. (7 %).

Разработка систем доставки и развертывания ЯО – 3320 млрд долл. (55 %).

Обеспечение секретности и безопасности – 937 млрд долл. (17 %).

Одна из основных проблем – разработка промышленного способа получения урана-235 за счет использования ничтожного различия в физико-химических свойствах изотопов урана.

Другая проблема – экспериментально доказать возможность превращения урана-238 в новый, легко делящийся элемент – плутоний, который мог быть отделен от исходного урана химическим способом. Такое доказательство было получено 2 декабря 1942 г., когда заработал первый реактор Ферми. Реактор был сооружен под западной трибуной стадиона Чикагского университета (центр многонаселенного района). Комптон, директор университета, передал ставшее теперь знаменитым шифрованное сообщение: «Итальянский мореплаватель высадился в Новом Свете. Туземцы настроены дружелюбно».

«Манхэттенский проект» включал три центра:

1. Ханфордский комплекс, включал 9 производственных реакторов для получения плутония. Характерными являются очень короткие сроки строительства – 1,5...2 года. Первый промышленный реактор «В» по производству оружейного плутония в настоящее время превращен в музей.
2. ОК-Ридж-заводы, где ничтожные количества урана-235 отделялись от основного изотопа – урана-238, использовались электромагнитный и газодиффузионный методы разделения.
3. Научная лаборатория в Лос-Аламосе, где разрабатывались теоретически и практически конструкция атомной бомбы и технологический процесс ее изготовления.

Один из главных теоретических вопросов, которые необходимо было решить, – время протекания ядерной реакции при осуществлении взрыва.

При медленном сближении критических масс ядерного взрыва не произойдет, а получится нейтронная вспышка, хлопок с разбросом ядерного материала. За время порядка  $10^{-6}$ ... $10^{-8}$  с необходимо обеспечить такие условия, при которых в реакцию вступит как можно больше делящегося материала.

Наиболее простая конструкция для создания критической массы – использование «ствольного» метода. По этому методу одна подкритическая масса делящегося материала направлялась как снаряд в направлении другой подкритической массы, играющей роль мишени, и это создавало мгновенно сверхкритическую массу, которая должна взорваться. Такой принцип был использован в конструкции бомбы «Малыш», сброшенной на Хиросиму.

Интересно отметить, что первые эксперименты в СССР проводились в пушке из Порт-Артура, которую привезли из Новосибирска, где она валялась на хоздворе одного из оборонных предприятий. Оказалось, что ствол этой пушки – лучший научный прибор, и равного ему металлургии не могут сделать до сих пор.

Одновременно в Арзамасе-16 появились и новые артиллерийские стволы.

Вторая конструкция атомной бомбы была основана на использовании явления сходящегося внутрь взрыва (имплозии). В этом случае поток газов от взрыва обычного взрывчатого вещества направляется на расположенный внутри делящийся материал и сжимает его до тех пор, пока он не достигнет критической массы. По этому принципу была создана бомба «Толстяк», сброшенная на Нагасаки.

В августе 1943 г. Ф. Рузвельт и У. Черчилль принимают решение об интенсификации всех работ по созданию ядерного оружия и о запрете на передачу информации о ядерном оружии третьим странам, и в январе 1944 г. в Лос-Аламос прибыла из Великобритании группа из 28 ученых; несколько позже в Лос-Аламос прибыл Н. Бор.

С мая 1945 г. в Лос-Аламосе работает назначенный Г. Трумэном Целевой комитет по практической реализации «Манхэттенского проекта»: тротильный эквивалент урановой бомбы оценен в 5...15 тысяч тонн, плутониевой – в 20 тыс. т, в качестве объекта бомбардировки предварительно выбраны 4 больших города Японии: Киото, Хиросима, Кокура, Нагасаки.

Импозиционная схема допускает применение как урана, так и плутония (для «ствольного» метода плутоний-239 непригоден) и в сравнении со «ствольной» более совершенна.

Первое испытание атомной бомбы было произведено в 5 часов 30 минут 16 июля 1945 года в штате Аламогардо (бомба ствольного типа на плутонии).

Второй взрыв был произведен в Хиросиме. Бомба ствольного типа с урановым зарядом была доставлена к берегам Японии на крейсере «Индианаполис» (900 человек экипаж). Интересно отметить, что на обратном пути крейсер был потоплен японской подводной лодкой.

Следует подчеркнуть, что взрыв бомбы с ураном ни разу еще не был осуществлен. 6 августа 1945 г. бомбардировщиком Б-29, носившем имя «Энола Гэй», которым управлял полковник Тиббетс, была сброшена бомба на Хиросиму (12–20 кт). Зона разрушений простиралась на 1,6 км от эпицентра и охватывала площадь 4,5 км<sup>2</sup>, 50 % зданий в городе было полностью разрушено. По оценке японских властей число убитых и пропавших без вести составило около 90 тысяч человек, число раненых 68 тысяч.

9 августа 1945 г. незадолго до рассвета самолет-доставщик (вел самолет майор Чарльз Суини) и сопровождающие его два самолета поднялись с бомбой «Толстяком». Город Нагасаки был разрушен на 44 %, что объяснялось горным рельефом местности.

Мир узнал о создании оружия громадной разрушительной силы.

Война, конечно, наложила свой отпечаток на развитие атомной проблемы в СССР.

После нападения Германии 22 июня 1941 г. советские ученые, как и все советское общество, направили свою энергию на решение неотложных проблем войны. В результате исследование деления ядер фактически было приостановлено до конца года. Институты, лаборатории эвакуировались на восток, поскольку борьба за победу требовала приоритета. Многие ученые-ядерщики были заняты другими задачами. Например, Курчатов работал над методикой размагничивания, чтобы защитить корабли от магнитных мин до апреля 1942 г., а затем руководил лабораторией брони в Физико-техническом институте.

В ответ на немецкое вторжение 30 июня 1941 г. был создан Государственный комитет обороны (ГКО), во главе со И. Сталиным и его заместителем В. Молотовым. Членами комитета были также Л. Берия, Г. Маленков и маршал К. Ворошилов. Задачей ГКО стала мобилизация всех ресурсов Советского Союза, для того чтобы вести войну и выиграть ее. 10 июля был образован Научно-технический совет, председателем которого стал С. Кафтанов.

В первые месяцы 1942 г. возможность создания атомной бомбы начала становиться более серьезным вопросом для советского руководства в результате получения свежей информации о работах по бомбе в Англии, Америке и Германии. Сначала И. Сталин относился со скептицизмом к информации, которую собрал Л. Берия – глава советской секретной службы, второй наиболее могущественный человек в Советском Союзе. Когда Л. Берия обсуждал атомную бомбу со И. Сталиным в конце 1941 г., И. Сталин предположил, что сообщения были «пропагандой», и подчеркнул, что «мы не собираемся разрабатывать этот тип супербомбы, но будем следить за ней».

В начале 1942 г. Г. Флеров, который служил в Воронеже в чине лейтенанта ВВС, обнаружил в университетской библиотеке, что статьи по делению ядер перестали публиковаться в западных журналах, и это подсказало ему о наличии секретных работ по атомной бомбе. На этот раз Г. Флеров написал С. Кафтанову, сообщив ему о своих тревогах. Ответа не поступило. В апреле он написал И. Сталину, сказав, что «мы должны создать атомную бомбу без промедления».

Когда начал поступать материал от зарубежной разведки, Л. Берия в марте 1942 г. направил докладную записку на пяти страницах И. Сталину и в ГКО, рекомендуя определить его важность.

Произошло другое подозрительное событие, указавшее на возможный интерес немцев к бомбе. В апреле 1942 г. полковник НКВД И. Старинов посетил С. Балезина – первого помощника Кафтанова.

И. Старинов принес записную книжку, взятую у немецкого офицера и содержащую список материалов, которые требуются для бомбы.

Эти события привлекли, наконец, внимание С. Кафтанова, и он вместе с А. Иоффе направил короткое письмо в ГКО с рекомендацией о создании исследовательского центра. В течение лета и осени с учеными консультировались относительно перспектив атомной энергии, но им не показывали разведывательные данные, собранные за рубежом. А. Иоффе получил предложение возглавить исследования. Он отказался и предложил либо И. Курчатова, либо А. Алиханова. Оба приехали в Москву и встретились с С. Кафтановым и С. Балезиным 22 октября 1942 г. Те рекомендовали И. Курчатова и попросили его составить список лиц, которых он хотел бы иметь в своей группе. И. Курчатов встретился с некоторыми учеными в ноябре и затем вернулся в Казань. И. Курчатов снова приехал в Москву 9 января 1943 г. и встретился с М. Первухиным, И. Кикоиным и А. Алихановым. М. Первухин попросил И. Курчатова написать памятную записку о том, как он организовал бы программу атомных исследований. И. Курчатов быстро сделал это. Записка была передана В. Молотову, на которого ученый произвел сильное впечатление во время встречи в январе. Академия наук 12 апреля приняла решение об организации Лаборатории № 2. Сначала она располагалась в помещении Сейсмологического института в Пыжевском переулке. В конце концов была найдена площадка в районе Покровского-Стрешнева в северо-западной части Москвы, и в апреле 1944 г. лаборатория переехала туда. При своем назначении И. Курчатов не был членом Академии наук, что уменьшало его влияние среди занимавших более высокое положение физиков.

На уровне Политбюро В. Молотов, бывший в то время наркомом иностранных дел и заместителем председателя ГКО, был назначен ответственным за программу бомбы. Выбор В. Молотова на контроли-

рующую роль необъясним, хотя у него были другие связи с оборонной промышленностью, например управление критической программой производства танков через имеющего высокое положение члена ГКО. (Многие сотрудники танковой промышленности впоследствии были вовлечены в программу атомного оружия.)

Как и во многих других делах в сталинском Советском Союзе, в программе бомбы первостепенную роль играла секретная служба под руководством Л. Берии. Народный комиссариат внутренних дел (НКВД) разделился 14 апреля 1943 г. на НКВД и НКГБ (народный комиссариат государственной безопасности). Берия был во главе НКВД, а бывший у него в доверии В. Меркулов стал руководить НКГБ. Как говорит А. Сахаров, в начале 1943 г. по приказу Л. Берии Н. Павлов был назначен представителем ЦК и СМ в Лаборатории № 2 в Москве. Н. Павлову пришлось стать важным чиновником Первого главного управления. Он отвечал за надзор за программой ядерного оружия и быстро продвинулся по службе, став незаурядным администратором.

Где-то после 2 февраля 1943 г. И. Курчатову начали показывать доклады иностранной разведки, приходившие уже пятнадцать месяцев с сентября 1941 г. Из записки на 14 страницах, которую он написал 7 марта М. Первухину, что он считает материал «исключительно важным и бесценным для нашей страны и науки», И. Курчатов немедленно увидел серьезность, с которой англичане вели свои исследования. И. Курчатов увидел также, как их программа могла бы стать ориентиром для советских исследований, позволяя избежать трудоемких этапов в решении проблемы. Он закончил предложением изучить три области исследований: выделение изотопа U-235 путем диффузии; получение цепной реакции в экспериментальном реакторе на естественном уране; изучение свойств плутония.

Во второй памятной записке М. Первухину 22 марта И. Курчатов продолжает обсуждение двух стоявших перед ним проблем: создание реактора и свойства плутония. Заинтригованный возможностью, что плутоний мог бы стать решением (и что можно было бы избежать трудной проблемы разделения изотопов урана), И. Курчатов требует, чтобы органы разведки узнали все, что сделано в лабораториях и университетах США.

Стоявшие перед И. Курчатовым исследовательские задачи были невероятно трудными, но на этом предварительном этапе планы состояли в том, чтобы создавать скорее экспериментальные прототипы, нежели полномасштабные установки, которые понадобились бы позже. Прежде всего И. Курчатову было нужно набрать команду ученых и инженеров в штат своей лаборатории. Перед тем как выбрать их, он навестил многих своих коллег в ноябре 1942 г. Набор продолжался весь 1943 г.

Один из важнейших приоритетов был отдан получению достаточного количества урана для экспериментального реактора, или «котла». Могло понадобиться 50 или 100 тонн. Поиски урана начались в 1940 г. в рамках Урановой комиссии и получили дополнительный импульс в 1942 г. по настоянию и при участии академика В. Вернадского и других советских геологов. Небольшие работы по добыче урана начались на старых урановых рудниках в Ферганской долине и вблизи Ленинабада в Таджикской ССР, но в конце 1944 г. И. Курчатов написал Л. Берии жалобу на некомпетентность В. Молотова и сообщил об отчаянной необходимости в уране. И. Курчатов отметил, что за период более года еще не были завершены геологические изыскания ленинабадского месторождения. Начиная с 1945 г. Девятое управление НКВД, помогая Министерству цветной металлургии, начало широкую программу разведки для нахождения дополнительных источников урана в СССР. В 1945 г. была направлена в Германию комиссия под руководством А. Завенягина для поиска урана, и она вернулась примерно со 100 тоннами.

Пришлось также решать, какой из способов разделения изотопов окажется наилучшим. И. Курчатов разбил задачу на три части: А. Александров исследовал метод термодиффузии; И. Кикоин руководил методом газовой диффузии, а Л. Арцимович изучал электромагнитный процесс.

Столь же важным было решение о том, какой тип реактора следует создавать. В Лаборатории № 2 рассматривались три типа реакторов: на тяжелой воде, с графитовым замедлителем и газовым охлаждением, с графитовым замедлителем и водяным охлаждением. И. Курчатов непосредственно руководил исследованиями атомного котла с графитовым замедлителем. А. Алиханов исследовал создание котла с использованием тяжелой воды в качестве замедлителя.

Если плутониевая бомба была тем путем, который можно было бы выбрать, надо было начать изучать его свойства как можно быстрее. В 1945 г. И. Курчатов получил первые нанограммные количества путем облучения в течение трех месяцев мишени из шестифтористого урана нейтронами от радий-бериллиевого источника. Практически в то же самое время Радиевый институт им. Хлопина начал радиохимический анализ субмикrogramмных количеств плутония, полученных на циклотроне, который был возвращен из эвакуации в годы войны и восстановлен. «Весомые» (микrogramмные) количества плутония появились в распоряжении немного позже от более мощного циклотрона в Лаборатории № 2.

Особый интерес представляла реальная конструкция бомбы. После ряда убеждений И. Курчатов добился, чтобы Ю. Харитон работал над этой конструкцией бомбы.

Если подвести итоги, то советская программа бомбы в основном оставалась маломасштабной в период с июля 1940 г. по июль 1945 г. Первая фаза от создания Урановой комиссии в Академии наук в июле 1940 г. до немецкого вторжения в июне 1941 г. продемонстрировала ограниченные возможности изучения атомной энергии. С началом войны даже эти небольшие усилия исчезли. В течение следующих восемнадцати месяцев – самых трудных военных дней для Советского Союза – несколько ученых продолжали вести агитацию за программу. Кроме того, некоторые тревожные разведывательные сообщения о западных усилиях по созданию бомбы заставили правительственных чиновников организовать в феврале 1943 г. соответствующие исследовательские изыскания. Эта фаза была еще совсем слабой и длилась до августа 1945 г., когда все резко изменилось.

Ко времени Потсдамской конференции, которая началась 17 июля 1945 г., на следующий день после испытания «Тринити», Советский Союз вел серьезный, хотя и небольшой, проект атомной бомбы. Президент Г. Трумен 24 июля мимоходом упомянул И. Сталина после одного из заседаний, что Соединённые Штаты имеют «новое оружие необычной разрушительной силы». И. Сталин сказал Г. Трумену, он надеется, что Соединенные Штаты найдут «хорошее применение его против японцев».

Курчатовская группа в Лаборатории № 2 узнала об успешном испытании первой американской атомной бомбы в июле 1945 г., но это еще не перевело программу на полные обороты.

Полная степень воздействия в конце концов начала проявляться перед И. Сталиным в августе 1945 г., когда Соединенные Штаты сбросили две атомные бомбы на японские города Хиросиму и Нагасаки. Нет сообщений о немедленной реакции И. Сталина, или о том, как он смог внезапно понять, насколько недостаточными были его прежние усилия. 18 августа И. Сталин вызвал в Кремль наркома вооружения Б. Ванникова и его заместителей. Там они встретились с И. Курчатовым. «Одна лишь просьба к вам, товарищи, – сказал И. Сталин. – Дайте нам атомное оружие как можно скорее. Вы знаете, что Хиросима потрясла весь мир. Нарушен баланс сил. Дайте бомбу ... это избавит нас от большой опасности».

Казалось, что все четырехлетние военные усилия пошли прахом от одного удара, а скоротечное чувство победы находится в опасности, поскольку в мировой политике проявился новый крупный фактор. Была нужна срочная программа, чтобы покончить с нетерпимой ситуацией, когда только Соединенные Штаты имели бомбу.

Двадцатого августа 1945 г. ГКО принял Постановление № 9887 об организации Специального комитета (Спецкома) для решения ядерной проблемы. Во главе спецкома назначили Л. Берия. Роль Берии в программе оказалась критической. Благодаря контролю над ГУЛАГом

Л. Берия обеспечил неограниченное количество рабочей силы заключенных для крупномасштабного сооружения площадок комплекса. Среди других восьми членов Специального комитета были М. Первухин, Г. Маленков, В. Махнев, П. Капица, И. Курчатов, Н. Вознесенский (председатель Госплана), Б. Ванников и А. Завенягин. В состав Специального комитета входили: Технический совет, организованный 27 августа 1945 г., и Инженерно-технический совет, организованный 10 декабря 1945 г.

Руководство атомной программой и ее координацию осуществляло новое межведомственное «полуминистерство», называемое Первым главным управлением (ПГУ) Совета Министров СССР, которое было организовано 29 августа 1945 г. и которым руководил бывший министр вооружений Б. Ванников, находившийся, в свою очередь, под контролем Л. Берии. ПГУ будет руководить программой от бомбы с 1945 г. до 1953 г. По Постановлению Совета Министров от 9 апреля 1946 г. ПГУ получила права, сравнимые с правами Министерства обороны по получению материалов и координации межведомственной деятельности. Были назначены семь заместителей Б. Ванникова, в том числе А. Завенягин, П. Антропов, Е. Славский, Н. Борисов, В. Емельянов и А. Комаровский. В конце 1947 г. М. Первухин был назначен первым заместителем руководителя ПГУ, а в 1949 г. на эту должность назначили Е. Славского. В апреле 1946 г. Инженерно-технический совет Спецкома был преобразован в Научно-технический совет (НТС) Первого главного управления. НТС сыграл важную роль в обеспечении научной экспертизы; в 40-х гг. им руководили Б. Ванников, М. Первухин и И. Курчатов.

На уровне Политбюро окончательный контроль за ядерной программой оставался за Л. Берией, а ПГУ отчитывалось непосредственно перед Политбюро. Главным помощником Л. Берии в надзоре за программой был генерал-полковник НКВД А. Завенягин, который одновременно служил заместителем у Л. Берии и Б. Ванникова и официально имел звание главного представителя Совета министров СССР. По образованию А. Завенягин был металлургом и его роль в советской программе была в чем-то аналогична роли генерала Лесли Гровса в американском проекте «Манхеттен». А. Сахаров называет его «жестким, решительным, чрезвычайно инициативным начальником... человеком большого ума».

Е. Славский, которому пришлось позднее руководить советской ядерной программой на уровне министра с 1957 г. по 1986 г., был введен в программу для контроля за производством исключительно чистого графита, который требовался для экспериментов И. Курчатова с ядерным котлом. Е. Славский был однокурсником А. Завенягина по горной академии и в то время являлся заместителем руководителя магниевой, алюминиевой и электронной промышленности. В итоге Е. Славский был по-



ставлен на руководство теми сторонами начальной программы бомбы, которые были связаны с извлечением металла из руды и его обработкой.

Е. Славский был суперсекретным человеком, и мало кто знает, что у него три звезды Героя и десять орденов Ленина.

Аварии случались часто, особенно в первое время. И всегда Е. Славский первым шел в опасную зону. Много позже врачи попытались определить, сколько именно он «набрал рентген». Называли цифру порядка полутора тысяч, т. е. три смертельные дозы. Но он выдержал и прожил до 93 лет.

П. Антропов – геолог, металлург и заместитель члена ГКО – во время войны стал заместителем Б. Ванникова, ответственным за поиск и добычу урана.

К лету 1945 г. у И. Курчатова была достаточная уверенность в том, какими путями следует двигаться, и он начал проектировать первый «промышленный» реактор, то есть первый крупный реактор для производства плутония. Реакторную площадку сначала называли плутониевым комбинатом (затем комбинатом «Маяк», химическим комбинатом «Маяк»).

К концу 1946 г. в Лаборатории № 2 (Москва) под руководством И. Курчатова и Е. Фурсова близилась к завершению работа над котлом с графитовым замедлителем, который окрестили «кипятильником», но он официально назывался Ф-1. В первый раз котел начал работать 25 декабря 1946 г.

Кроме того, в течение 1946 г. в Лаборатории № 2 был создан экспериментальный радиохимический цех. Затем его назвали предприятием № 5 (в составе НИИ-9). Были проведены испытания для выделения плутония на основе процедур, созданных в Радиевом институте, и с использованием заготовок, облученных в реакторе Ф-1.

Для получения плутония и изготовления деталей из него на Южном Урале в 1946 году развернулось строительство трех крупнейших объектов: первого промышленного ядерного реактора, радиохимического завода для выделения плутония и специального завода, конечной продукцией которого были детали для атомной бомбы.

Первый реактор производил 100 условных единиц, т. е. 100 г плутония в сутки, новый реактор – 300 г в сутки, но для этого требовалось загружать до 250 т урана.

Как теперь хорошо известно, для конструкции первой советской атомной бомбы были использованы попавшие к нам благодаря Клаусу Фуксу и разведке достаточно подробная схема и описание первой испытанной американской атомной бомбы. Эти материалы оказались в распоряжении наших ученых во второй половине 1945 года. Когда специалистами Арзамаса-16 было выявлено, что информация достоверная (а это потребовало выпол-

нения большого объема тщательных экспериментальных исследований и расчетов), было принято решение для первого взрыва воспользоваться уже проверенной, работоспособной американской схемой.

Учитывая государственные интересы в условиях накаленных отношений между СССР и США в тот период, а также ответственность ученых за успех первого испытания, любое другое решение было бы недопустимым и просто легкомысленным. Приняв решение реализовать для первого взрыва американскую схему, советские ученые временно притормозили разработку своей оригинальной и более эффективной конструкции. Тем не менее, ее экспериментальная отработка была начата уже весной 1948 года, а в 1949 году Л. Альтшулером, Е. Забабахиным, Я. Зельдовичем и К. Крупниковым вариант нашего ядерного заряда был уже обоснован экспериментально и расчетно. Этот заряд был успешно испытан в 1951 году, и его взрыв представлял собой второе испытание атомного оружия в СССР [8].

В музее ядерного оружия в Арзамасе-16 хранятся макеты двух изделий с использованием американской и советской схемы. Наша бомба, будучи почти в два раза легче американской бомбы, была одновременно в два раза мощнее ее. Существенно меньшим оказался и диаметр бомбы благодаря оригинальному инженерному решению по обеспечению имплозии.

Поэтому в становлении советского атомного проекта, не преувеличивая значение материалов разведки (хотя необходимо отдать должное ее усилиям и вкладу в успех общего дела), нужно отметить мощные стартовые позиции наших ученых, приступивших в разгар войны к решению атомной проблемы.

Полученная разведкой информация позволила на начальном этапе избежать тех трудностей и аварий, которые произошли в Лос-Аламосе в 1945 г. при сборке и определении критических масс плутониевых полусфер.

Так, поднося к сборке из плутония последний кубик отражателя, экспериментатор заметил по прибору, регистрировавшему нейтроны, что сборка близка к критической. Он отдернул руку, однако кубик упал на сборку, увеличив эффективность отражателя. Мгновенно произошла вспышка цепной реакции. Экспериментатор разрушил сборку руками. Он умер через 28 дней в результате переоблучения дозой 800 рентген. Всего к 1958 году в Лос-Аламосе произошло 8 ядерных аварий. Чрезвычайная засекреченность работ, отсутствие информации создавало благоприятную почву для различных фантазий.

Смысл аббревиатуры первых советских атомных и водородных зарядов, которую придумал один из помощников Л. Берии генерал Г. Махнев, РДС-1, РДС-2 – реактивный двигатель И. Сталина. На Западе наши ядерные заряды называли по имени И. Сталина – «Джо-1», «Джо-2».

Существует и такая версия: Л. Берия, будучи в восторге от успешного испытания, предложил И. Курчатову дать имя устройству. И. Курчатов ответил, что имя уже выбрано К. Щелкиным. Это было РДС-1 – первые буквы фразы «Россия делает сама», что, возможно, является не совсем верным, поскольку сейчас мы знаем о первоначальном происхождении названия.

Даже в 1950 году на лекции по химии проректор Московского государственного университета Г. Вовченко пояснял: «Водородная бомба – это когда землю заливают жидким водородом, все замораживая».

Была и такая нелепая версия. Будто бы американцы сбросили на Японию не две, а три атомные бомбы, одна из которых не только не взорвалась, но даже сохранилась. И будто бы эта третья бомба и была передана японцами Советскому Союзу.

Почва для различных домыслов появляется и тогда, когда правда замалчивается из-за политических установок и соображений, как например в случае Л. Берии.

Не подвергая сомнению оценку общеизвестных злодеяний этого страшного человека, необходимо отметить его организаторские способности. В начале общее руководство советским атомным проектом осуществлял В. Молотов. Стиль его руководства и, соответственно, результаты не отличались особой эффективностью. И. Курчатов не скрывал своей неудовлетворенности. С переходом атомного проекта в руки Л. Берии ситуация кардинально изменилась. Л. Берия быстро придал всем работам по проекту необходимый размах и динамизм. Этот человек, явившийся олицетворением зла, обладал одновременно огромной энергией и работоспособностью. Может быть, покажется парадоксальным, но Л. Берия, не стеснявшийся проявлять откровенное хамство, проявлял понимание и терпимость, если для выполнения работ требовался тот или иной специалист, не внушавший, однако, доверия работникам его аппарата. Когда Л. Альтшулера, не скрывавшего своих симпатий к генетике и антипатий к Г. Лысенко, служба безопасности решила удалить с объекта под предлогом неблагонадежности, Ю. Харитон напрямую позвонил Л. Берии и сказал, что этот сотрудник делает много полезного. Берия спросил: «Он вам очень нужен?». Получив утвердительный ответ, повесил трубку. Инцидент был исчерпан. Среди ветеранов говорили, что при представлении к наградам Л. Берия будто бы распорядился исходить из простого принципа: тем, кому в случае неудачи был уготован расстрел, присваивать Героя; кому максимальное тюремное заключение – давать орден Ленина... и так далее, по нисходящей.

Трудно сказать, соответствуют ли подобные разговоры истине.

### *Создание испытательного полигона. Первое испытание*

Требовалось место для испытания бомбы, как только она будет изготовлена. Было принято специальное постановление (21 августа 1947 г.), где говорилось о создании площадки для испытания атомной бомбы. И. Курчатов выбрал изолированное место в 160 км к западу от города Семипалатинска в Казахстане и первое время его называли полигоном № 2, или просто «номером два». В конце 1947 г. начали прибывать военные подразделения, чтобы строить сооружения для испытаний. Этот гарнизон получил название «Москва-400», и он расположился на берегах Иртыша примерно в 60 км к востоку от центра полигона.

В центре полигона была построена металлическая башня высотой в 30 м для размещения ядерного устройства. На разных расстояниях от башни были воздвигнуты помещения для размещения приборов и фотооборудования, которые должны были вести регистрацию испытания. Поскольку испытание предназначалось также для изучения влияния взрыва на военное и гражданское оборудование, было подготовлено много экспериментов и построено много сооружений. В их число входили два трехэтажных здания на расстоянии 800 м от подножья башни, часть железной дороги с металлическим мостом и двумя вагонами на расстоянии 1 000 м от башни, часть автомагистрали с железобетонным мостом и расположенными на ней грузовыми и легковыми автомобилями на расстоянии 1 200 м от башни, электростанция с двумя дизельными генераторами на расстоянии 1 500 м от башни; на расстоянии 200...300 м от башни был вырыт метротуннель глубиной 15...30 м. Множество военного оборудования было распределено на разных расстояниях, включая танки, артиллерию, надстройки кораблей и самолеты. Два бомбардировщика Пе-2 были помещены на расстоянии 9 км от башни, причем один имитировал взлет, а другой – крутой поворот. На открытом воздухе были привязаны животные: собаки, свиньи, крысы, мыши и два верблюда. Завершение всего этого обширного строительства и подготовки заняло почти два года круглосуточной работы. К 10 августа 1949 г. все было готово.

Если вернуться в КБ-11 (Арзамас-16), то там подготовка велась всю первую половину 1949 г. В начале июня Государственная комиссия во главе с Б. Ванниковым приехала в КБ-11, чтобы определить, насколько далеко продвинулась работа. Она дала добро, и Ю. Харитон был назначен руководителем испытания, а К. Щелкин – его заместителем. Было закончено формирование рабочих групп и бригад, и в июле И. Курчатов одобрил окончательную конструкцию. Теперь мы знаем, что при первом испытании использовалось устройство, которое было почти полно-

стью скопировано с американской конструкции, применявшейся в испытании «Тринити» в Нагасаки.

В начале августа четырьмя самолетами были переправлены детали самого устройства. В больших количествах начали прибывать научные и административные руководители из КБ-11 и Москвы. Несколько дней было потрачено на проверку оборудования и приборов, а затем были проведены три полномасштабные генеральные репетиции 14, 18 и 22 августа со временем взрыва в 7 ч утра. После трех успешных репетиций было решено провести испытание 29 августа в 7.00 утра (по местному времени).

В течение 26, 27 и 28 августа был проведен последний монтаж для подготовки устройства. Вечером 28 и ранним утром 29 августа Н. Духов, Ю. Харитон, В. Давиденко, Г. Алферов и др. собрали бомбу. Когда были выполнены почти все процедуры, устройство подняли на вершину башни. Там Г. Ломинский, Г. Флеров, В. Давиденко и К. Щелкин закончили последние соединения. Были соединены последние провода и последним, кто покинул башню в 5.40 утра, был К. Щелкин.

И. Курчатов, Ю. Харитон, К. Щелкин, М. Первухин, В. Болятко, Г. Флеров, Л. Берия и А. Завенягин собрались в Здании № 12 в двухкомнатном командном пункте на расстоянии 10 км от башни. Кроме того, было два наблюдательных поста: один в 15 км к югу от башни – для военных, второй в 15 км к северу от башни – для ученых.

И. Курчатов дал команду к подрыву, и А. Мальский стал вести обратный отсчет «минус 30 минут... минус 15 минут... 30 секунд... 10 секунд... пять, четыре, три, две, одна, ноль». Прошло примерно 30 секунд до того, как страшный грохот пронесся над командным пунктом. После того как утихла ударная волна, все вышли из здания, чтобы наблюдать за растущим грибообразным облаком и за разрушениями, которые вызвал взрыв мощностью в 20 кт. Менее чем через десять минут после взрыва один из танков, предназначенных для изучения радиационных эффектов, уже был в эпицентре, проводя измерения и собирая образцы почвы.

РДС-1 не был поставлен на вооружение. Как мы теперь знаем, это была в большей степени «политическая», нежели военная бомба. Первая бомба, пущенная в производство, не ставилась на вооружение до 1953 г. Как заявил Ю. Харитон, эти бомбы советской конструкции более чем вдвое превышали по мощности первую конструкцию «американского типа» и были гораздо легче. Эти бомбы были основаны на двух испытаниях, проведенных 24 сентября и 18 октября 1951 г.

Интересно отметить, что когда Ю. Харитон стал научным руководителем «Арзамас-16», появилась крылатая фраза: «Надо "перехаритонить" Оппенгеймера». Так говорили в Арзамасе.

9 февраля 1946 г. в Большом театре И. Сталин произнес речь: «Я не сомневаюсь, что если мы окажем достойную помощь нашим ученым, они сумеют не только достигнуть, но и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны». Затраты на науку в 1946 году стали в 3 раза больше.

Стремление организовать проект советской водородной бомбы возникло в 1946 г. и было выражено в коротком докладе правительству под названием «Использование ядерной энергии легких элементов» (авторы И. Гуревич, Я. Зельдович, И. Померанчук, Ю. Харитон). 1 августа 1953 года впервые в мире советские физики испытали водородный заряд, готовый к применению в виде бомбы. Идея этого заряда была предложена А. Сахаровым. Правда, американские ученые первыми осуществили термоядерный взрыв 1 ноября 1952 г. Но этот эксперимент был только этапом к созданию водородной бомбы. Взорванное в США устройство представляло собой огромное нетранспортабельное 50-тонное наземное сооружение размером с двухэтажный дом. Ядерное горючее поддерживалось в нем в сконденсированном состоянии с помощью криогенной техники. Следует отметить, что водородная бомба была создана в СССР совершенно самостоятельно и не являлась продуктом деятельности советской разведки. В США также пришли к выводу, что Клаус Фукс не мог передать СССР секреты водородной бомбы, т. к. в период работы Фукса направление исследований американских физиков-ядерщиков в области термоядерного синтеза было ошибочным. Эффективность конструкции водородного заряда в основном определялась тем, какая степень сжатия термоядерного горючего обеспечивается в результате стартового взрыва атомного устройства. Мощность заряда, испытанного в 1953 г., примерно в 20 раз превосходила мощность атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму и имевшей такие же габариты и вес. Схема этого заряда допускала создание водородной бомбы порядка мегатонны. Термоядерность заряда, т. е. вклад собственно термоядерных реакций в полную величину мощности, приближалась к 15...20 %. Некоторые американские специалисты склонны отождествлять наше испытание в 1953 г. со своими испытаниями типа «Джордж», проведенными в США в 1951 г. Но подобные опыты, по замечанию другого американского физика Р. Джастрова, были «скорее игрой на публику, чем подлинным экспериментом...». Использование здоровенной атомной бомбы для инициирования реакции в небольшом пузырьке с дейтерием и тритием напоминало применение доменной печи для поджигания спички.

В заряде 1953 г. уже использовалось перспективное термоядерное горючее, дейтерид лития, и поэтому тритий нарабатывался в ходе тер-

моядерных реакций в процессе взрыва, а получавшиеся высокоэнергетические нейтроны обеспечивали «трехтактную» схему «деление – синтез – деление».

В 1955 г. наши физики – А. Сахаров, Я. Зельдович, Ю. Трутнев – создали новую конструкцию термоядерного заряда.

22 ноября 1955 г. экипажем во главе с Ф. Головашко произведен впервые в мире взрыв водородной бомбы, сброшенной с самолета ТУ-16.

Первое в СССР сбрасывание атомной бомбы с самолета было произведено 18 октября 1951 г.

30 октября 1961 г. наши физики осуществили и непревзойденный до сих пор по мощности взрыв 50-мегатонной бомбы. Этот заряд отличался высокой «чистотой». 97 % его мощности приходилось на термоядерные реакции. Подрыв бомбы был осуществлен на высоте четырех километров над Новой Землей с помощью стратегического бомбардировщика ТУ-95.

Могучий оборонный ядерный щит нашей Родины был создан.

Советское руководство сразу предусмотрело особые меры для поощрения участников выполнения атомного проекта. И. Сталин 21 марта 1946 года почти за три с половиной года до первого нашего ядерного испытания подписал Постановление правительства «О премиях для научных и инженерно-технических работников за научные открытия и достижения по использованию атомной энергии».

Согласно Постановлению «руководитель работы, удостоенный первой премии:

- а) получает денежную премию в размере одного миллиона рублей;
- б) представляется Советом министров Союза ССР к высшей степени отличия... – званию Героя Социалистического Труда;
- в) получает звание «Лауреат Сталинской премии» первой степени;
- г) получает за счет государства в собственность в любом районе Советского Союза дом-особняк и дачу с обстановкой, а также легковую автомашину;
- д) получает двойной оклад жалованья на все время работы в данной области;
- е) получает право обучения своих детей в любых учебных заведениях СССР за счет государства;
- ж) получает право (пожизненно для себя, жены (мужа) и до совершеннолетия для детей) бесплатного проезда в пределах СССР железнодорожным, водным и воздушным транспортом».

Важно подчеркнуть, что премии предусматривались не только за разработку принятых к промышленному внедрению методов получения плутония-239, урана-235 и урана-233, создание конструкции атом-

ной бомбы, но также и за промышленное применение внутриатомной энергии в энергетических целях и на транспорте, имеющих большое народно-хозяйственное значение, за важнейшие открытия в области физики атомного ядра и космического излучения, за создание мощных ускорителей, за разработку важнейших теоретических проблем ядерной физики, новых методов обнаружения элементарных частиц высоких энергий, использование ядерных процессов и радиоактивных веществ в медицине, биологии, химии.

Таким образом, получили признание и поддержку все разделы атомной науки и техники и смежные с ними направления.

Именно в соответствии с этим постановлением были отмечены осенью 1949 г. участники разработки и испытания первой советской атомной бомбы. Руководители работ – среди них И. Курчатов, Ю. Харитон, В. Хлопин, Н. Доллежал, А. Бочвар – действительно были удостоены перечисленных выше благ и знаков отличий.

Признанием выдающегося вклада именно ученых в решение атомной проблемы в СССР явился и следующий факт. Уже через три месяца после первого испытания Л. Берия поручает Завенягину, И. Курчатову, М. Первухину и другим «в двухнедельный срок разработать и вынести на рассмотрение Специального комитета предложение о порядке присвоения ученых званий научным и инженерно-техническим работникам научно-исследовательских учреждений и предприятий, работающим по тематике Первого главного управления, за работы, которые не могут быть рассмотрены в обычном (открытом) порядке». Вскоре надлежащие процедуры были оформлены, а спустя еще некоторое время несколькими наиболее отличившимся участникам и руководителям работ были без защиты диссертаций сразу присвоены докторские степени.

В последующие годы комплекс по производству оружия значительно расширился. В начале 80-х гг. конструирование, испытания и производство боеголовок проводились на 13 основных площадках. Начавшиеся в конце 80-х гг. конверсионные усилия и охватившие всю страну перемены резко повлияли на деятельность комплекса по производству боеголовок. Производство ВОУ для оружия было прекращено. Производство плутония для оружия заметно сократилось, и, как ожидается, скоро спадет до нуля. После распада Советского Союза ядерный полигон в Семипалатинске был закрыт навсегда. Связанная с оружием деятельность на других предприятиях либо прекратилась, либо оказалась направленной на демонтаж боеголовок. Кроме демонтажа, комплекс продолжает деятельность по профилактике ядерного арсенала и, возможно, ограниченному производству новых боеголовок стратегических ракет СС-25.



Поскольку комплекс по производству ядерных боеголовок и большая часть арсенала сосредоточены в России, после развала Советского Союза в конце 1991 г. программа производства ядерного оружия перешла к России, идет процесс сосредоточения в России ядерного арсенала. Исследование, разработка и производство ядерного оружия в России находятся сейчас под управлением Федерального агентства по атомной энергии РФ.

До 1987 г. в России было 15 военных промышленных реакторов. Тринадцать из 15 реакторов производили плутоний. Все эти реакторы двойного назначения – производящие плутоний, а также пар для бытового отопления и электроэнергии.

### ***Полигоны для испытания ядерных боеголовок в СССР***

Различные российские казахские и американские документы помогли развести 715 советских испытаний по срокам, типам, местоположению и задачам. 204 ядерных испытания было проведено в атмосфере, 508 – под землёй и 3 – под водой. 496 испытаний проводилось в Казахстане, 214 – в России и 5 – в трех других республиках. Из казахстанских испытаний 470 было проведено на Семипалатинском полигоне, в том числе 348 взрывов были подземными: в 215 случаях с горизонтальным залеганием и в 133 случаях – с вертикальным. На российском полигоне на Новой Земле было проведено 132 испытания: 87 атмосферных, 3 подводных и 42 подземных. Полная мощность взрывов составила 291 мегатонну, причем около 257 мегатонн было взорвано в атмосфере в период 1949–1962 гг. [14, 27].

В то время как первое ядерное оружие испытывалось в Казахстане, разработка термоядерного оружия привела советских специалистов к выводу о необходимости нового полигона для оружия с более высокой мощностью.

Периодом наиболее интенсивных испытаний на полигоне Новая Земля были 1961 г. и 1962 г. За период с 1961 г. по 1962 г. было проведено 56 испытаний в атмосфере. Полное число испытаний, проведенных на Новой Земле, составляет 132, из которых 87 атмосферных, 42 подземных и 3 подводных [14].

*Часто возникает вопрос: почему Германия, где уровень ядерной физики был самым высоким в мире, не сумела сделать атомную бомбу? Это удивительный факт, который до сих пор многим исследователям не дает покоя. Поразительно, но немцы не запустили даже маломощный экспериментальный реактор, хотя начали над ним работать еще в 1939 году. Известно, что для создания бомбы необходим легкий изотоп, уран-235, а его в руде всего 0,7 %. Ядерщики бились над пробле-*

мой, как его отделить от тяжелого изотопа, урана-238, причем в промышленных масштабах.

*А разве немцы не знали о методе газодиффузии, который как раз и применили американцы?* Знали, но считали, что это «еврейская физика», а потому искали другой способ. И потеряли время. А вообще в немецкой программе был один ключевой момент. К 1943 году они поняли: в бомбе уран-235 вполне заменим плутонием, а это существенно упрощает задачу. Ведь его можно получать в реакторе прямо из природного урана.

Но В. Ботте, рассчитывая реактор, где замедлителем служит графит, допускает роковую ошибку. В результате немцы стали строить установку не на графите, а на тяжелой воде, которой в Германии не было. Доставка же ее в нужных количествах из Швеции оказалась неразрешимой задачей.

Есть более глубокая причина неудачи Германии. Там очень сильна иерархия, этакое «герр профессор сказал». Но при создании бомбы многие решения получались вопреки авторитетам и устоявшимся понятиям. Именно в США, с их демократизмом, нетривиальные идеи молодых ученых, пожалуй, как нигде в мире, поддерживались и реализовывались.

#### ***О вкладе советских и немецких ученых в решение урановой проблемы в СССР [14]***

Работы по разделению изотопов урана в газовой фазе были начаты в Лаборатории № 2 сразу же после ее организации в 1943 г. В 1944 г. в Лаборатории № 2 Л.А. Арцимович был назначен ответственным за изучение электромагнитного метода разделения изотопов урана.

К середине 1944 г. к разработке методов разделения изотопов была привлечена Лаборатория электрических явлений, руководимая И. Кикоиным в Уральском филиале АН. В эту лабораторию был откомандирован Ф. Ланге, который раньше работал в ХФТИ, а затем в г. Уфе над созданием газовой центрифуги. Однако до конца войны работы велись малыми силами. Тем временем в государственном союзном НИИ-42 Наркомхимпрома (в лаборатории Б. Алексеева) были получены первые 10 г  $UF_6$ , который является наиболее химически устойчивым газообразным соединением урана. После окончания войны и организации Специального комитета и ПГУ отношение к урановой проблеме диаметрально изменилось. Для участия в исследованиях были привлечены немецкие специалисты, оказавшиеся в ходе войны на территориях, занятых Советской армией. Хорошо известно, что в предвоенные и военные годы наибольших успехов в изучении высвобождения внутриядерной энергии добились ученые Германии и США. Так называемую «урановую машину» немцы намечали использо-

вать в качестве двигателя для ракет и подводных лодок, а также в атомной бомбе. Советские специалисты сумели получить данные, которые позволили составить схему организации работ, проводившихся в Германии по этой проблеме, а также установить объемы этих работ, полученные по ним конечные результаты, примерное количество урана и тяжелой воды, которым располагала Германия до капитуляции, и ряд других сведений. О полученных данных было доложено руководителям проводимых у нас работ по проблеме № 1 Б. Ванникову и И. Курчатову. Поэтому неслучайно, что еще в конце 1945 г. Постановлением Совнаркома от 19 декабря 1945 г. было поручено привлечь немецких специалистов для работы в СССР. В системе НКВД созданное еще в 1944 г. специальное подразделение во главе с А.П. Завенягиным (9-е Управление) было призвано обеспечивать работу приглашенных немецких ученых и специалистов. Также поступали и наши союзники, которые в результате разгрома Германии собрали в своей зоне оккупации много ученых из Германии.

Как союзники, так и руководство нашей страны при демонтаже в Германии ряда производств, научных учреждений и других объектов, в первую очередь связанных с военной промышленностью, в ряде случаев предлагали работать на победителей крупным немецким специалистам по контракту, с четким определением прав и взаимных обязательств. Наша сторона сделала такие предложения некоторым крупным ученым. Предложение приняли профессор барон М. Арденне, руководивший в Берлине собственной лабораторией электронной и ионной физики, нобелевский лауреат Г. Герц, возглавлявший лабораторию фирмы Siemens в Берлине, а также профессора Р. Доппель, М. Фольмер, Г. Позе, П. Тиссен; доктора В. Штуце, Н. Риль и другие специалисты. Всего из Германии в СССР прибыло примерно 200 специалистов, среди них 33 доктора наук, 77 инженеров и около 80 ассистентов и лаборантов. К концу 1948 г. в СССР находилось приблизительно 300 немецких специалистов и квалифицированных рабочих. Часть прибывших были связаны с разработкой технологии получения высокообогащенного урана.

Работы по разделению газовых смесей изотопов в нашей стране тоже проводились. Под руководством Комиссии АН СССР по изотопам (руководитель академик В. Вернадский) в апреле 1940 г. была проведена Всесоюзная конференция с обсуждением планов работ по получению тяжелой воды методом электролиза и разделения изотопов урана масс-спектрометрическим методом из паров металла и методом термодиффузии  $UF_6$ .

Ранее отмечалось, что в ХФТИ ученый немец-эмигрант Ф. Ланге вел лабораторные опыты с применением горизонтальной высокооборотной центрифуги в целях разделения изотопов урана. Как отмечает

Н. Синев, установка Ф. Ланге в 1944 г. была передана сначала Свердловской лаборатории электрических явлений (И. Кикоину), а в мае 1945 г. эта лаборатория и сам Ф. Ланге перебазировались в Москву. Некоторые работы проводились и в других институтах еще в довоенный период. На Техническом совете Специального комитета, ответственного за реализацию программы № 1, уже в сентябре 1945 г. были заслушаны доклады: 6 сентября – И. Кикоина (Лаборатория № 2) и П. Капицы (ИФП) «О состоянии исследований по получению обогащенного урана газодиффузионным методом»; 10 сентября – Л. Арцимовича (Лаборатория № 2) и А. Иоффе (ЛФТИ) «Об обогащении урана электромагнитным методом».

В декабре 1945 г. были конкретизированы направления работ и определены руководители: газодиффузионный метод разрабатывался под общим руководством И. Кикоина; электромагнитный метод – под руководством Л. Арцимовича; методы термодиффузии – под руководством А. Александрова и И. Кикоина. Научное руководство разработками диффузионного метода обогащения урана правительством было конкретизировано и возложено на трех ученых во главе с И. Кикоиным – он отвечал за физику процессов, профессор И. Вознесенский – за инженерные решения, академик С. Соболев – за расчетно-теоретические работы.

Были развернуты работы немецких ученых. Под руководством М. Арденне в помещении санатория «Синоп» (г. Сухуми) создается институт А, на который возлагается разработка следующих методов:

- электромагнитного метода разделения изотопов урана (руководитель М. Арденне);
- методов изготовления диффузионных перегородок (руководитель П. Тиссен);
- молекулярных методов разделения изотопов урана (руководитель М. Штеенбек).

В помещении санатория «Агудзеры» (вблизи г. Сухуми) размещается институт Г под руководством лауреата Нобелевской премии Г. Герца. На этот институт возлагаются такие работы:

- разделение изотопов методом диффузии в потоке инертного газа (руководитель Г. Герц);
- разработка конденсационного насоса (руководитель Мюленпфорд);
- создание теории устойчивости и регулирования диффузионного каскада (руководитель Г. Барвих);
- конструирование масс-спектрометра для определения изотопного состава урана (руководитель В. Шютце);
- разработка бескаркасных (керамических) диффузионных перегородок фильтров (руководитель Р. Райхман).

Руководителям этих институтов М. Арденне и Г. Герцу разрешалось на добровольных началах приглашать для работы в СССР известных им ученых и квалифицированных специалистов. Немецкие ученые и специалисты работали в комфортабельных условиях. Им всем были установлены твердые должностные оклады, разрешена переписка и предоставлена возможность отправлять посылки. Вместе с немецкими учеными в «Агудзерах» и «Синопе» работали советские физики из Тбилиси Ш. Бурдиашвили, И. Гвердцители, И. Кварцахо и др.

Немецкие специалисты работали и на других объектах, связанных с использованием урана. Под руководством профессора Р. Позе в 1946–1947 гг. в Калужской области (станция Обнинское) была создана лаборатория В. С 1946 по 1953 гг. он был одним из научных руководителей по созданию ядерного реактора на слабообогащенном уране. Лаборатория В была организована на базе помещений детской трудовой колонии. В ней работали 23 немецких специалиста под научным руководством Р. Позе и члена Украинской АН А. Лейпунского.

Лаборатория Б для немецких и части реабилитированных отечественных специалистов была организована в санатории «Сунгуль» около г. Касли в Челябинской области, где работали Н. Тимофеев-Рессовский (возглавлял радиобиологический отдел) и немецкие ученые К. Циммер, Г. Борн, А. Кач и др. Директором лаборатории Б был А. Уралец, его заместителем по общим вопросам – И. Увин (впоследствии начальник Финансового управления Минсредмаша), а научным руководителем химического отдела – профессор С. Вознесенский. Кроме немцев, в лаборатории работали и вольнонаемные советские специалисты: Ю. Москалев, Л. Булдаков, П. Горбатюк, А. Горюнов, несколько позднее – Г. Середа, П. Долгих, Л. Басков и др. После перевода А. Уральца в НИИ-9 директором лаборатории Б был назначен Г. Середа – впоследствии начальник ЦЗЛ на комбинате № 817 в Челябинске-40. Под руководством С. Вознесенского впервые в стране была разработана технология получения чистых осколочных элементов, таких как  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ , и технология очистки от них.

Кроме институтов А и Г, лабораторий Б и В, отдельные группы немецких специалистов работали на заводе № 12 (Н. Риль и П. Тиссен), в НИИ-9 (М. Фольмер и Р. Доппель), ЛИПАНе (И. Шетельмейстер). Как уже отмечалось, ряд немецких ученых были награждены правительственными наградами. Так, доктор Г. Виртц за разработку технологии получения металлического урана из  $\text{UF}_6$  дважды удостоивался Сталинской премии. Доктор Штуце за разработку перегородок для диффузионных машин тоже был удостоен Сталинской премии. Доктору Н. Рилю за работы, связанные с технологией производства

чистого металлического урана, кроме Сталинской премии, было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

В 1953 г. немецкие специалисты были в основном освобождены от многих работ и вскоре выехали в Германию. В целом работы немецких ученых были составной частью общих задач, решаемых у нас в стране в рамках атомной программы, однако они не были связаны с работами предприятий и КБ, расположенных в Арзамасе-16 (г. Кремлёв), Челябинской области (г. Снежинск) и Свердловске-45 (г. Лесной). О вкладе отечественных и немецких специалистов в решение проблемы получения высокообогащенного U-235 наиболее детально изложено в книге активного создателя этой технологии профессора Н. Синева, а также в обзоре профессора Н. Галкина.

Количество оружейного плутония в мире оценивается в 270 т, из которых 150 т находится в России, 100 т – в США, менее чем по 10 т – во Франции и Китае.

США произвели более 500 т ВОУ оружейного качества (93 % U-235).

Российские потребности в ВОУ оцениваются порядка 1 100...1 300 т. Россия согласилась продать 500 т ВОУ оружейного качества США, и как сказал министр Михайлов, эта величина составляет примерно 40 % полного резерва российского ВОУ.

Используя метод компьютерного моделирования, американские учёные определили, чтобы уничтожить Канаду, потребовалось бы 11 ракет (475 кт), США – 124, Россию – 51, Северную Корею или Ирак – 4, Китай – 368 (гибель 25 % населения, 50 % промышленности). Американский Центр оборонной информации опубликовал данные о ядерном потенциале государств. Всего в мире на 2002 г. – 22 000 ракет с ядерным оружием: Китай – 400 (250 стратегических /120 тактических), Франция – 350, Индия – 60, Израиль – 100/200, Пакистан – 24/48, Россия – 10 000 (6 000/4 000), Англия – 180/5, США – 10 656 (8 646 / 2 010).

Руководитель Минатома РФ В.Н. Михайлов отмечал: «Минатом добывает самое чистое в мире золото. У нас самое дешёвое производство циркония, самая эффективная технология разделения изотопов с энергопотреблением в 20 раз ниже, чем в США. За счёт переработки бедных руд мы выпускаем чистые оксиды молибдена, вольфрама, ванадия. В Минатоме работают несколько заводов по производству серной, азотной и плавиковой кислот, элементарного фтора. Наши предприятия производят тантал и ниобий, цирконий и гафний, литий и бериллий, щелочно-земельные металлы и изделия из них.

В настоящее время стоит огромной важности задача по разработке и уничтожению значительной части этого арсенала оружия.

Ядерное оружие – это сложное устройство, которое включает в себя и электронику, и генераторы, и ядерно-активные материалы, и обычные

взрывчатые вещества. Оно имеет ограниченный срок службы – примерно 10...15 лет, а затем поступает на разборку. Сейчас наши заводы больше заняты ликвидацией старых зарядов, чем производством новых».

Научно-технические достижения отрасли способствовали ликвидации нашего отставания от США в создании ядерного арсенала. Так, если в 1950 г. США имели в своем арсенале свыше 300 атомных бомб, а СССР – 12 единиц, то в 1970 г. это выражено следующим образом: 26 600 боеголовок у США и 12 700 – у СССР. А уже в 1977 г. у СССР было 28 400 единиц ядерного оружия против 25800 у США [19, 20].

## **2.2. Типы ядерного оружия**

Ядерное оружие может быть сгруппировано по классам, основанным на ядерных реакциях, лежащих в принципах их работы, или на особенностях конструктивного исполнения. Популярное деление ядерного оружия на оружие деления и оружие синтеза не совсем корректно. Спектр конструктивного исполнения оружия более сложен, чем эта простая классификация. Во всех ядерных устройствах, разработанных по настоящее время, взрывное высвобождение энергии происходит при реакции деления ядер. Конструкции оружия, в основе которого лежит реакция синтеза ядер, могут различаться принципами и способами подрыва.

### *Терминология*

У оружия, действующего на принципах деления или синтеза ядер, есть очень много названий: атомные бомбы (A-bombs), водородные бомбы (H-bombs), ядерное оружие, бомбы деления (fission bombs), бомбы синтеза (fusion bombs), термоядерное оружие (не упоминая «physics package»). Несколько комментариев о терминологии.

Самое раннее название для такого оружия, кажется, «атомная бомба». Оно критиковалось как неправильное употребление, так как все химические взрывчатые вещества производят энергию в результате реакций между атомами – то есть между неповрежденными атомами, состоящими из атомного ядра и его электронной оболочки. Поэтому оружие ядерного деления, к которому применен термин «атомная бомба», не более «атомное», чем оружие синтеза. Однако это название стало привычным для оружия чисто ядерного деления и очень часто используется историками, публикой и учеными, которые создавали первое ядерное оружие.

Так как основная особенность и оружия ядерного деления, и оружия ядерного синтеза – то, что они освобождают энергию при преобразованиях ядер атомов, лучший общий термин для всех типов этих взрывчатых устройств – «ядерное оружие».

Оружие синтеза называют «водородными бомбами» (H-bombs), потому что изотопы водорода – основные компоненты этих ядерных реакций.

Фактически в самой первой конструкции бомбы на основе реакции синтеза дейтерий (водород-2) был единственным топливом. Оружие синтеза называют «термоядерным оружием», потому что для возникновения реакций синтеза требуются высокие температуры.

### ***Оружие «чистого» расщепления ядер***

Это оружие, которое в качестве источника энергии использует реакции расщепления ядер. Бомбы расщепления работают на принципе быстрого соединения подкритических частей с расщепляющимся материалом (плутоний или обогащенный уран) в единое целое, которое становится сверхкритичным. Первые атомные бомбы, проверенные 16 июля 1945 г. (наименование устройства – Gadget, наименование испытания – Trinity) и сброшенные на Японию 6 августа 1945 г. (Little Boy по Хиросиме) и 9 августа 1945 г. (Fat Man на Нагасаки), были «чистым» оружием расщепления.

Это самое легкое в проектировании и производстве ядерное оружие, которое, к тому же, необходимо для развития любого из других типов ядерного оружия. В дополнение к пяти объявленным ядерным державам (США, СССР/Россия, Великобритания, Франция и Китай), которые разработали и проверили это оружие, эти бомбы есть у Израиля, Индии, ЮАР и Пакистана. Индия официально провела испытания такой бомбы, в то время как Израиль и ЮАР только сообщили об этом.

Размер «чистых» бомб расщепления имеет практические пределы. Большие бомбы требуют большего количества делящегося материала, поэтому:

- 1) становится все более и более трудным поддерживать подкритичность системы до взрыва;
- 2) возникают сложности сбора высокоэффективной сверхкритической массы по причине возможной детонации от случайных, паразитных нейтронов (предвзрыва).

Вызывает затруднение точная идентификация самой большой бомбы «чистого» расщепления. Кажется, это 500 кт, – испытание Ivy King, проведенное США 15 ноября 1952 г.

### ***Объединенное оружие расщепления/синтеза***

Все ядерное оружие, которое не является оружием «чистого» расщепления, предполагает реакции синтеза для увеличения энергии взрыва. Все оружие, где используется синтез, требует, чтобы бомба расщепления



обеспечила энергию начала реакции синтеза. Это не обязательно подразумевает, что синтез произведет существенное количество энергии взрыва или даже что эта энергия является желательным эффектом.

### ***«Усиленное» оружие расщепления***

Самым ранним применением реакции синтеза было созданное «усиленное» оружие расщепления (boosted fission weapons). В этом оружии несколько граммов смеси газа дейтерия/третия включены в центр расщепляющегося заряда. Когда в заряде бомбы начинается цепная реакция расщепления, температура заряда повышается настолько, что становится достаточной для старта (D,T)-реакции синтеза, которая развивается стремительно. При этой реакции происходит интенсивный выход нейтронов высокой энергии, который соответственно повышает интенсивность цепной реакции деления. Это очень ускоряет процесс деления топлива, таким образом позволяя получить намного более высокий процент прореагировавшего материала в заряде прежде, чем заряд разлетится на части. Обычно в «чистой» бомбе до раскола заряда успевает прореагировать не более чем 20 % делящегося материала (это может быть намного ниже, эффективность бомбы, сброшенной на Хиросиму, составляла 1,4 %). Ускорение расщепления позволяет увеличить энергию взрыва на 100 % (20-килотонная бомба при усилении может, таким образом, стать 40-килотонной бомбой). Фактическое количество энергии, освобожденной при реакции синтеза, незначительно, приблизительно 1 % от общей мощности бомбы. Это делает усиленную бомбу трудно отличимой от «чистой» (единственный метод определения – обнаружение следов трития).

Первое испытание «усиленного» оружия – Greenhouse Item (45,5 кт, 24 мая 1951 г.), устройство взорвано на острове Джанет атолла Enewetak. В этом экспериментальном устройстве вместо газа использовалась жидкая тритий-дейтериевая смесь. Усиление приблизительно удвоило мощность взрыва. Были проведены испытания усиленных зарядов с использованием газообразного дейтерия и тритий-дейтерида лития, но не известно, использовался ли любой из этих подходов в боевом оружии.

Из-за отмеченного увеличения мощности (так же как и по ряду других причин – сокращения веса заряда и устранения риска предвзрыва) большинство бомб расщепления на сегодня усилено, включая те, которые используются как первичные (инициирующие) в оружии расщепления-синтеза. Но все-таки хотя усиление и повышает мощность бомб расщепления, это оружие при повышении мощности заряда имеет те же самые недостатки, как и «чистые» бомбы расщепления. Техника усиления наиболее нужна в маленьких легких бомбах, которые иначе имели бы низкую эффективность. Тритий – очень дорогой в изготовлении ма-

териал, скорость распада трития составляет 5,5 % в год, но маленькие количества (несколько граммов), необходимые для того, чтобы усилить бомбу, делают его использование экономичным.

Советский прогресс по водородной бомбе близок параллельным разработкам в Соединенных Штатах. На самом деле советские исследования могли пойти по неверному пути из-за сообщений разведки об американских конструкциях, которые в конечном итоге оказались неудачными. Было очевидно, что для возбуждения термоядерной реакции потребуется температура в несколько десятков миллионов градусов. Начальная советская концепция, которой следовала группа Зельдовича, состояла в том, чтобы поместить слой жидкого дейтерия в обычную атомную бомбу между расщепляющимся материалом (полый сферой из урана-235 или плутония-239) и внешним слоем химической взрывчатки. Однако было замечено что недостаток тепла и малая степень сжатия дейтерия приводили к практически полному отсутствию термоядерной реакции в дейтерии. Чтобы увеличить скорость реакции, в 1948 г. были предложены два способа улучшения конструкции: один – Д. Сахаровым и второй – В. Гинзбургом. Д. Сахаров в августе или сентябре 1948 г. предложил увеличить скорость реакции в дейтерии, т. е. окружить его оболочкой из естественного урана, что приведет к эффективному увеличению концентрации дейтерия на границе между ураном и дейтерием. Оболочка вокруг дейтерия увеличивает также мощность устройства в результате деления U-238 быстрыми нейтронами, которые выделяются при термоядерном сгорании – это так называемый конструктивный принцип «деление – синтез – деление». Описан также вариант Д. Сахарова в виде неоднородной конструкции, состоящей из перемежающихся слоев термоядерного топлива (дейтерия, трития или их химических соединений) и тяжелого вещества, например урана-238. Д. Сахаров называл её «слоистой». Его коллеги называли подход Д. Сахарова «сахаризацией».

Кроме того, давно уже было понятно, что ситуация была бы значительно улучшена, если часть дейтерия заменить на тритий, так как поперечное сечение (D,T)-реакции примерно в 100 раз выше сечения (D,D)-реакции при той же самой температуре. Поскольку трития нет в природе в сколь-либо заметных концентрациях, его надо получать в реакторах при облучении нейтронами ядер лития-6 согласно реакции



Этот процесс дорог. Более того, тритий радиоактивен с периодом полураспада 12,3 года и поэтому его надо регулярно пополнять. Вскоре после того, как Д. Сахаров предложил свою «первую идею», В. Гинзбург в ноябре 1948 г. предложил заменить часть дейтерия на литий-6

в качестве средства на получение трития в самом оружии. В конечном счете (возможно, по предложению В. Гинзбурга) литий-6 вошел в оружие в виде дейтерида лития ( ${}^6\text{LiD}$ ).

Эти две идеи, « ${}^6\text{LiD}$ » и «сахаризация», были включены в первое советское термоядерное испытание 12 августа 1953 г. Испытанное оружие, которое в Соединённых Штатах получило название «Джо-4», было, по словам Ханса Ботте, одноступенчатым оружием с «резко усиленным делением», имевшим мощность 400 кт.

Десять процентов мощности (40 кт) дал запал, 15...20 % (60...80 кт) выделилось от термоядерной реакции (от  ${}^6\text{LiD}$ ), все остальное (280...300 кт) – от деления ядер U-238 в урановых слоях.

### ***Оружие организованного лучевого взрыва***

Этот класс оружия также называют «Teller-Ulam», либо (в зависимости от типа) оружие расщепления-синтеза или расщепления-синтеза-расщепления. Это оружие использует реакции синтеза с изотопами легких элементов (например, водород и литий) и не имеет ограничений по мощности взрыва, присущих «чистой» бомбе расщепления и усиленной бомбе. При этом уменьшается стоимость самой такой бомбы, путем сокращения количества дорогостоящего обогащенного урана или плутония, требуемого для создания бомбы эквивалентной мощности, и уменьшается вес бомбы. Реакции синтеза происходят во «вторичном» блоке топлива синтеза, который физически отделен от «первичного» пускового блока, работающего на принципе расщепления. Таков принцип бомбы, использующей две стадии (подсчет стадий начинается с первичной – расщепления). Гамма-кванты, образующиеся при взрыве первичного блока, используются, чтобы сжать вторичный блок посредством так называемого лучевого взрыва (radiation implosion). Вторичный блок зажигается от запала («spark plug»), расположенного в центре этого блока и функционирующего на принципе расщепления. Энергия, произведенная при реакции синтеза на второй стадии взрыва, может использоваться для поджога следующей, третьей стадии. Многократное повторение этого процесса позволяет, в принципе, создавать бомбы фактически неограниченной мощности.

Реакции синтеза позволяют повысить мощность взрыва двумя способами:

- 1) непосредственным высвобождением большого количества энергии, которая образуется в результате этих реакций;
- 2) путем использования высокоэнергетических («быстрых») нейтронов, образующихся при реакциях синтеза, которые вызывают расщепление материала делящейся оболочки, окружающей блок синтеза.

В прошлом эта оболочка изготавливалась из естественного или обедненного урана, поскольку  $^{238}\text{U}$  расщепляется под действием быстрых нейтронов. В качестве оболочки может использоваться торий, хотя он обладает худшими размножающими свойствами и экономически менее выгоден по сравнению с дешевым обедненным ураном. В случае, когда необходима оптимизация веса и размера бомбы (то есть фактически все современное стратегическое оружие), в качестве оболочки лучше использовать умеренно- или высокообогащенный уран.

Бомбы, в которых основное количество энергии взрыва формируется в процессе реакций синтеза, а нейтроны, образованные при реакции синтеза, не используются для расщепления оболочки блока синтеза, называют оружием расщепления-синтеза (fission-fusion). Если нейтроны, образованные при реакции синтеза, используются для расщепления делющейся оболочки, такие бомбы называют оружием расщепления-синтеза-расщепления (fission-fusion-fission).

О расщеплении оболочки вторичного блока в бомбе расщепления-синтеза-расщепления иногда пишется, как о «третьей стадии» в бомбе, и это в некотором смысле правильно. Но это нельзя путать с истинно трехстадийной термоядерной конструкцией, где вторая стадия синтеза инициирует подрыв третьего блока, в основе функционирования которого также лежит синтез легких ядер.

Бомбы, основная мощность которых определяется реакциями синтеза, считаются «чистыми» бомбами. Последняя и максимальная стадия взрыва этих бомб, оболочка второго блока которых выполнена из неделяющегося материала, основана на реакции синтеза (не считая расщепления запала). Доля процессов синтеза в этих конструкциях, как проверено в испытаниях, составляет до 97 % общей мощности взрыва.

Бомба расщепления-синтеза-расщепления – «грязная» бомба, но она значительно дешевле. При взрыве этой бомбы образуется большое количество радиоактивных осколков деления, так как расщепление оболочки определяет основную долю мощности бомбы. При испытании устройства Redwing Tewa (5 Mt) (20 июля 1956 г. Атолл Бикини) получено, что вклад реакций расщепления в общую мощность взрыва составляет 85 %. Если в основе проектирования конструкции бомбы лежит цена – оболочка изготавливается из естественного или обедненного урана.

В качестве топлива вторичного блока бомбы обычно используется чистый дейтерий или дейтерид лития, включающий изотопы  $^6\text{Li}$  и  $^7\text{Li}$ . Дейтерий и изотопы лития – естественные устойчивые изотопы, и они значительно дешевле, чем искусственно сделанный и радиоактивный тритий.

Концепция лучевого взрыва первоначально была разработана С. Уламом и окончательно сформировалась в начале 1950 г. в сотрудни-

честве С. Улама и Э. Теллера. Первым испытанием термоядерного устройства этого типа был Ivy Mike 31 октября 1952 г. на острове Elugelab/Flora атолла Enewetak. Экспериментальное устройство, названное Sausage («Сосиска»), было изготовлено на основе чистого дейтерия (вероятно, единственный раз) и оболочки из естественного урана. Устройство было разработано Комитетом Panda во главе с J. Carson Mark в Лос-Аламосе. Мощность Mike составила 10,4 Мт, 77 % которых были обусловлены расщеплением.

Обычно считается, что тремя основными разработчиками советской водородной бомбы были Д. Сахаров, Я. Зельдович и Ю. Харитон, хотя работа Арзамаса-16 была поддержана (особенно в течение первых лет) теоретическими группами ФИАНа (В. Гинзбург, Е. Фрадкин) и Института физических проблем (Л. Ландау, И. Халатников), а также экспериментаторами ЛИПАНа и Дубны. Ю. Харитон был научным руководителем Арзамаса-16 с начала его существования (1946 г.), Я. Зельдович прибыл в Арзамас вместе с Ю. Харитоном в 1946 г. и первое время отвечал за теоретические исследования. Когда Д. Сахаров и И. Тамм приехали в Арзамас в 1950 г., был создан второй теоретический отдел для И. Тамма. После отъезда И. Тамма, в 1953–1954 гг. его место занял Д. Сахаров. В 1955 г. Я. Зельдович и Д. Сахаров были назначены заместителями Ю. Харитона.

Идея использования излучения для сжатия и поджига физически удаленного термоядерного вторичного устройства (в американской программе это изобретение, сделанное весной 1951 г., приписывается Э. Теллеру и С. Уламу) была разработана Д. Сахаровым («одним из главных авторов») совместно с несколькими его коллегами из двух теоретических отделов (Я. Зельдовича и Д. Сахарова) в Арзамасе-16. В своих воспоминаниях Д. Сахаров называет это третьей идеей и утверждает, что Я. Зельдович, Е. Трутнев и другие несомненно внесли в нее значительный вклад. Что-то похожее на «третью идею» было предметом более ранних предположений, но этот двуступенчатый подход стал серьезным выбором для исследований в 1954 г.

Концепция «Teller-Ulam» позже была открыта другими четырьмя ядерными странами, все они также испытали это оружие. Никакие другие государства пока не освоили эти технологии, хотя необъявленные ядерные державы Израиль и Индия почти наверняка ведут работы в этом направлении.

Трехстадийные заряды были испытаны и поставлены на вооружение в качестве сверхмощных бомб. Первое американское «чистое» трехстадийное испытание и, вероятно, последнее трехстадийное «чистое» испытание – устройство Bassoon, испытание Redwing Zuni

(27 мая 1956 г., Атолл Бикини, 3.5 Мт). Самый сильный ядерный взрыв, когда-либо производимый (50 Мт), был произведен «Царь-бомбой» – советским трехстадийным зарядом расщепление-синтез-расщепление – 30 октября 1961 г. на Новой Земле на высоте 4 000 м.

При использовании в качестве оболочки блока третьей стадии делящегося материала, трехстадийные устройства могут быть высокомогущим «чистым» оружием. И Zuni, и Царь-бомба были фактически очень «чистыми» устройствами: Zuni – 85%-й синтез, Царь-бомба – 97%-й синтез. В обеих конструкциях урановая оболочка третьей стадии была заменена на вольфрамовую. Вариант устройства Bassoon, наименование Bassoon Prime, был проверен в «грязном» испытании Tewa, упомянутом выше. «Грязное» устройство, полученное на основе Bassoon, было принято на вооружение для создания самого мощного оружия, которое США когда-либо имели, – 25-мегатонной М-41. Конструкция Царь-бомбы с применением урановой оболочки предполагала мощность взрыва, близкую к 100 мегатоннам!

Возможная разновидность использования метода организованного лучевого взрыва: на второй стадии вместо термоядерной реакции инициируется вновь реакция деления. Это фактически и было начальной концепцией С. Улама, прежде чем он понял его возможное применение для термоядерного оружия. Преимущество этого метода в том, что при организованном лучевом взрыве скорость реакции повышается в сотни раз, а плотность – в десятки раз, что обуславливает максимум использования топлива в реакции. Метод позволяет получать высокие энерговыделения и при этом использовать делящиеся материалы более низкого качества. Если же в качестве заряда второй стадии используется заряд, усиленный топливом синтеза, это повышает мощность двухстадийного устройства, работающего на принципе расщепление–синтез–расщепление, до такой степени, что стираются различия между устройством этого типа и классическим термоядерным устройством «Teller-Ulam». TX-15 «Zombie», разработанный США, первоначально был запланирован как двухстадийное устройство «чистого» расщепления, но позже был трансформирован: его вторая стадия была усилена добавкой топлива синтеза, что повысило его мощность. Zombie был проверен в испытании Castle Nectar (13 мая 1954 г., по Гринвичу; Атолл Бикини; 1,69 Мт), и принят на вооружение как Mk-15.

### ***Конструкции «будильник»/«слойка» («слоеный пирог»)***

Эта идея предшествовала изобретению метода организованного лучевого взрыва, и была изобретена независимо по крайней мере три раза. Первым изобретателем такой конструкции был Э. Теллер (США),

который назвал конструкцию «Будильник». Впоследствии к этому пришли А. Сахаров и В. Гинзбург (СССР), они назвали эту конструкцию «Слойка». «Слойка» – слоистое российское печенье, подобно торту «Наполеон», поэтому название и было переведено на английский, как «Слоеный пирог». Наконец, это было развито в Британии (изобретатель неизвестный). Каждая из этих программ исследования оружия натолкнулась на эту идею перед окончательным созданием более сложного, но более мощного и эффективного термоядерного оружия.

Система была названа в СССР «Слоеный пирог» потому, что она состоит из набора концентрических сферических оболочек. В центре – первичный блок расщепления, выполненный из U-235/Pu-239, его окружает экран из U-238, затем слой дейтерида/тритида лития-6, который опять окружен экраном из U-238, – и получена система, обладающая высокой взрывной мощностью. Процесс начинается подобно взрыву обычной бомбы. После взрыва первичного блока в центре бомбы в результате выделения энергии слой с материалами синтеза сжимается и нагревается до пороговой температуры термоядерной реакции. Слабоэнергетичные нейтроны деления инициируют смешанную (расщепление–синтез–расщепление) цепную реакцию. Эти слабоэнергетичные нейтроны генерируют тритий из лития, который синтезируется с дейтерием с выделением нейтронов высокой энергии, которые, в свою очередь, инициируют реакцию деления в слое U-238, окружающем слой с материалами синтеза, в результате чего образуется еще больше трития. Здесь топливо синтеза действует как нейтронный акселератор, позволяющий дать старт цепной реакции расщепления большой массы обычно не делящегося U-238. В этой конструкции слой с материалами синтеза не обязательно должен содержать начальную дозу трития, хотя эта начальная доза увеличивает мощность взрыва.

Возможный вклад синтеза в общую мощность взрыва небольшой – 15...20 %, и не может быть увеличен. Использование топлива синтеза весьма неэффективно. Эта конструкция имеет такие же ограничения по мощности, как бомбы «чистого» расщепления и усиленные бомбы. Эта конструкция применялась в Советском Союзе и Британии до времени разработки стадийных зарядов, описанных выше. США не разрабатывали подобную конструкцию, поскольку Э. Теллер не считал ее достаточно мощной.

Первое испытание конструкции этого типа было с устройством RDS-6s, известным в США как Joe-4, 12 августа 1953 г. Использование тритиевого допинга позволило достичь 10-кратного повышения мощности заряда по сравнению с мощностью первичного блока, общая мощность взрыва составила 400 кт. Британское устройство Orange Herald

Small в испытании Grapple 2 (31 мая 1957 г.) было подобно советскому, но использовался значительно больший первичный блок расщепления (300 кт), и, очевидно, отсутствовала начальная доза трития. Общая мощность взрыва составила 720 кт, усиление первичного заряда – в 2,5 раза. Это, вероятно, самое мощное испытание конструкции данного типа.

Очевидно, что бомбы этой конструкции не стоят на вооружении в пяти ядерных государствах. Однако, эта конструкция остается жизнеспособной и может быть привлекательной для других государств, которые не имеют ресурсов, чтобы развить более сложные типы вооружений. Информация, представленная Mordechai Vanunu, указывает, что у Израиля, возможно, есть бомбы этого типа.

Эту конструкцию нужно, вероятно, считать отличной от других классов ядерного оружия. Здесь наблюдается какой-то гибрид: ее можно отнести к классу «усиленных» бомб расщепления или к классу одностадийных бомб расщепления-синтеза-расщепления.

### ***Нейтронные бомбы***

Нейтронные бомбы, еще называемые «enhanced radiation (ER) warheads», относятся к термоядерному оружию малой мощности, в котором нейтроны, сгенерированные в ходе реакций синтеза, преднамеренно не поглощаются в материале бомбы и создают высокий нейтронный поток в окрестности взрыва бомбы. Этот интенсивный поток нейтронов высокой энергии – принципиальный разрушительный механизм. Нейтроны, в отличие от других типов излучения, хорошо проникают через многие защитные материалы. Материалы, хорошо защищающие от гамма-лучей, против нейтронов практически не работают. Термин «увеличенная радиация» в данном случае относится именно к процессу взрыва, а не к радиации, вызывающей последующее (вторичное) радиоактивное заражение местности.

США развили нейтронные бомбы для использования в качестве стратегического противоракетного оружия и тактического оружия, применяемого против бронетанковых сил. Противоракетное оружие ER было разработано для защиты американских бункеров МБР от советских боеголовок, в основе действия повреждение ядерных компонентов летящей боеголовки интенсивным нейтронным потоком. Тактические нейтронные бомбы прежде всего предназначены для уничтожения солдат, которые защищены броней. Бронированные транспортные средства являются чрезвычайно стойкими к разрушению и нагреву, произведенному ядерным взрывом, поэтому эффективный диапазон действия ядерного оружия против танков ограничен радиусом, внутри которого доза радиации смертельна, хотя броня уменьшает и эту дозу. Испускаемая мощ-



ный поток нейтронов, ER-боеголовки увеличивают радиус действия взрыва по бронированным целям.

В использовании радиации как тактического оружия, предназначенного для уничтожения живой силы противника, есть одна проблема: доза облучения, которая является смертельной, может вызвать летальный исход не мгновенно, а в течение какого-то (возможно, длительного) промежутка времени. Дозу облучения 600 рад обычно считают смертельной (это убьет по крайней мере половину из тех, кто подвергнется этому), но в течение первых нескольких часов солдат ничего не ощущает и остается боеспособным. Нейтронные бомбы были разработаны для того, чтобы создать дозу 8 000 рад и немедленно вывести людей из строя. Одной килотонной ER-боеголовка способна уничтожить экипаж танка Т-72 в диапазоне 690 м от эпицентра, по сравнению с тем, что для «чистой» бомбы расщепления этот радиус составляет 360 м. Смертельный диапазон излучения для незащищенных людей, сформированный тактической нейтронной бомбой, превышает смертельный диапазон, получаемый при взрыве усиленной или термоядерной бомбы.

Нейтронный поток может вызвать значительную кратковременную вторичную радиоактивность вблизи места взрыва. Радиоактивность легированной стали, используемой в танковой броне, может оставаться опасной для жизни в течение 24...48 ч после взрыва. Если танк находился на расстоянии менее 690 м от места взрыва 1 кт нейтронной бомбы (эффективный диапазон для немедленного выведения из строя команды танка) и после взрыва немедленно занят новой командой, новая команда в течение 24 ч получит смертельную дозу радиации.

Современная танковая броня имеет лучшую защиту от ER-боеголовок, чем советские Т-72. Сейчас используются специальные типы брони, которая поглощает нейтроны. Материалы, используемые в составе брони, – борированные пластмассы. Эффективной защитой является использование в роли щита от нейтронов топлива транспортного средства. Некоторые более новые типы брони, подобно броне танка М-1, используют обедненный уран, который активно поглощает нейтроны, но при этом становится очень радиоактивным.

Из-за сильного ослабления энергии нейтронов атмосферой (интенсивность нейтронного потока понижается в 10 раз на 500 м) ER-оружие эффективно только на небольших расстояниях от эпицентра взрыва и, таким образом, обладает невысокой поражающей силой. ER-боеголовки предназначены для минимизации общей энергии взрыва, относительно взрыва нейтронов. Основное предназначение этих бомб – уничтожение вражеских сил, которые находятся неподалеку от своих позиций. Расхожее восприятие нейтронной бомбы: «владелец бомбы» уничтожает

живую силу противника, но здания остаются неповрежденными – очень завышено. В эффективном боевом диапазоне (690 м) взрыв от 1 кт нейтронной бомбы уничтожит или максимально повредит почти любое гражданское здание. Таким образом, использование нейтронной бомбы для защиты от вражеского нападения, когда требуется уничтожение большого количества живой силы противника, приведет к уничтожению всех зданий и сооружений в области взрыва.

Нейтронные бомбы (по крайней мере, тактические версии) отличаются от другого термоядерного оружия потому, что газовая смесь трития и дейтерия в этих бомбах – единственное топливо синтеза. Причин для этого две: 80 % энергии в результате (D,T)-термоядерной реакции – это кинетическая энергия испускаемых нейтронов, и вторая причина – это топливо имеет самый низкий порог, с которого начинается реакция синтеза. Это означает, что для развития взрыва необходимо лишь 20 % энергии синтеза, что нейтронный поток в большей степени состоит из высокоэнергетичных, хорошо проникающих через защиту нейтронов (14,7 МэВ) и что для инициирования реакции синтеза необходим очень маленький взрыв расщепления (250...400 т). Мощность взрыва при создании равного нейтронного потока при использовании более распространенного топлива – дейтерида лития – была бы намного выше, и, причем, это топливо для начала реакции синтеза потребовало бы более сильного взрыва расщепления. Неудобство использования (D,T)-топлива – тритий очень дорог, и скорость распада трития составляет 5,5 % в год. Все это делает ER-боеголовки более дорогими в изготовлении и сложными в обслуживании, по сравнению с другим тактическим ядерным оружием. Для производства 1 кт нейтронной бомбы требуется 12,5 г трития и 5 г дейтерия.

США разработали и произвели три типа нейтронных боеголовок, четвертая была отменена до момента запуска в производство. На настоящее время все это оружие списано и демонтировано.

- Боеголовка W66 для ракеты Спринт была первая ER-боеголовка. Она изготавливалась в течение 1974–1975 гг., и была снята с вооружения через несколько месяцев, в августе 1975 г., после того как от системы Спринт отказались (сделано приблизительно 70 установок). Мощность системы составляла несколько килотонн (сообщалось о 20 кт), и, возможно, в боеголовках использовалось (D,T)-топливо.
- Боеголовка W70 Mod 3 для ракеты Lance имела мощность около 1 кт, 60 % которой определялось синтезом, а 40 % – расщеплением. Разработка производилась в течение 1981–1983 гг., и была остановлена к 1992 г.; построены 380 ракет.

- Боеголовка W79 Mod 0 для 8-дюймового артиллерийского снаряда имела мощность от 100 т до 1,1 кт. Самое маломощное было чистым оружием расщепления, в наиболее мощном оружии 800 Т определялись синтезом (73 %), а 300 т – расщеплением. Боеголовка изготавливалась в течение 1981–1986 гг.; в середине 80-х стала сниматься с вооружения, к 1992 г. полностью снята с вооружения; изготовлено 325 боеголовок.
- W82 Mod 0 – ультрасовременный артиллерийский снаряд (155 мм), подобно W79 с варьируемой мощностью боеголовки, был отменен в октябре 1983 г., не входя в производство.

Советский Союз, Китай и Франция, как известно, также развивали проекты нейтронных бомб и имели их на вооружении. Было много сообщений, что нейтронные бомбы развил Израиль, которому они могли быть полезны в войне, например, на Голанских высотах. Но такие бомбы трудны в создании и производстве. Можно сделать вывод, что Израиль фактически приобрел эти бомбы.

### ***Кобальтовая бомба и другие «соленые» бомбы***

«Соленое» (радиологическое) ядерное оружие напоминает оружие расщепления-синтеза-расщепления, но оболочка у этого оружия вокруг блока топлива синтеза второй стадии взрыва выполнена не из делящегося материала, а из специально выбранного изотопа (в случае кобальтовой бомбы используется кобальт-59). Эта оболочка захватывает нейтроны синтеза, образуя радиоактивный изотоп, который вместо усиления мощности взрыва, как U-238, распадаясь, максимизирует радиоактивное заражение местности в области проведения взрыва.

С использованием изотопов с различным периодом полураспада могут быть созданы различные условия радиоактивного заражения местности. Для краткосрочного заражения (дни) предполагается применение золота, для заражения промежуточной продолжительности (месяцы) – тантала и цинка, для длительного загрязнения (годы) – кобальта. Для получения большего эффекта, исходные изотопы должны изобилывать естественным элементом, а получаемые в результате нейтронной эмиссии радиоактивные продукты должны быть мощным источником гамма-квантов высокой энергии.

Идея создания кобальтовой бомбы принадлежит Лео Сцилларду, который в феврале 1950 г. объявил о возможности создания оружия такого типа, которое способно убить все население Земли («устройство» Судного Дня).

Таблица 2.1

*Константы «соленой» бомбы*

Исходный изотоп	Содержание изотопа в естественном элементе	Радиоактивный продукт реакции	Период полураспада
кобальт-59	100 %	Со-60	5.26 лет
золото-197	100 %	Au-198	2.697 дня
тантал-181	99,99 %	Ta-182	115 дней
цинк-64	48,89 %	Zn-65	244 дня

Для создания, теоретически, такого оружия, необходим радиоактивный изотоп, который можно рассеять по всему миру прежде, чем он распадется. Такое рассеяние должно занять от нескольких месяцев до нескольких лет, и Со-60, с его периодом полураспада, является идеальным кандидатом.

Со-60, как радиологическое оружие, гораздо более опасен, чем U-238. Радиоактивное заражение продуктами деления оболочки из U-238 слабее потому, что:

- 1) многие продукты расщепления имеют очень короткий период полураспада и распадаются таким образом прежде, чем достигнут земли (почвы). Их действие кратковременно;
- 2) многие продукты расщепления имеют очень большой период полураспада и не производят, таким образом, интенсивного радиоактивного заражения;
- 3) некоторые продукты расщепления вообще нерадиоактивны.

Полураспад Со-60 достаточно долог, чтобы переждать радиоактивное заражение в убежищах, но все же достаточно короток для создания интенсивного радиоактивного заражения.

Гамма-излучение в первые моменты взрыва бомбы расщепления-синтеза-расщепления намного интенсивнее, чем при взрыве кобальтовой бомбы эквивалентной мощности: в 15 000 раз интенсивнее в течение 1 часа; в 35 раз интенсивнее в течение 1 недели; в 5 раз интенсивнее в течение месяца, и интенсивности становятся равными через 6 месяцев. После этого времени активность при взрыве бомбы с оболочкой из U-238 понижается так быстро, что через год активность, вызванная взрывом кобальтовой бомбы, в 8 раз интенсивнее, чем бомбы расщепления, а через 5 лет интенсивнее в 150 раз. Активность изотопов с большим периодом полураспада, произведенных при взрыве бомбы расщепления, сравнивается с активностью кобальтовой бомбы лишь через 75 лет после взрыва.

Как дополнительный кандидат на «роль Судного Дня», был предложен цинк. Достоинство цинка-64 в том, что его быстрый распад ведет к большой начальной интенсивности гамма-излучения. Недостатком явля-

ется то, что изотоп цинк-64 составляет только половину естественного цинка, материал бомбы должен быть или обогащен по изотопу Zn-64, или мощность взрыва будет сокращена наполовину; это более слабый источник гамма-квантов, чем Co-60, производит только одну четверть гамма-квантов относительно такого же количества Co-60; и этот изотоп сильно рассеян по всему миру. При использовании «чистого» цинка-64 интенсивность гамма-квантов при взрыве была бы вдвое больше, чем кобальта. Активность становится равной через 8 месяцев, а через 5 лет интенсивность кобальтовой бомбы превысит интенсивность цинковой в 110 раз.

В военном отношении радиологическое оружие предполагается использовать для создания местных (в противоположность глобальным) и высокоинтенсивных начальных загрязнений. Поэтому короткоживущий цинк более подходит для такого типа оружия, чем кобальт, предназначенный для долговременного загрязнения, но менее, чем тантал или золото, предназначенные для промежуточной продолжительности загрязнения. Как отмечено выше, обычные «грязные» бомбы расщепления–синтеза имеют очень высокую начальную интенсивность гамма-излучения, и поэтому их также нужно считать радиологическим оружием.

Никакая кобальтовая или другая радиологическая бомба когда-либо не проверялась в атмосферных испытаниях и, насколько известно из публичных источников, никогда не изготовлялась. Зная радиологические «возможности» бомб расщепление-синтез-расщепление, трудно предположить, что какое-либо радиологическое оружие специального назначения когда-либо будет развиваться.

Британцы испытывали бомбу, которая включала кобальт как экспериментальный радиохимический индикатор (Antler/Round 1, 14 сентября 1957 г.). Это устройство (1 кт) было взорвано на полигоне Tadje в области Maralinga в Австралии. Эксперимент был расценен как неудачный и больше не повторялся.

Приведем самые важные реакции синтеза, используемые для термоядерного оружия:

- 1)  $D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n + 17,588 \text{ МэВ};$
- 2)  $D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n + 3,268 \text{ МэВ};$
- 3)  $D + D \rightarrow T + p + 4,03 \text{ МэВ};$
- 4)  ${}^3\text{He} + D \rightarrow {}^4\text{He} + p + 18,34 \text{ МэВ};$
- 5)  ${}^6\text{Li} + n \rightarrow T + {}^4\text{He} + 4,78 \text{ МэВ};$
- 6)  ${}^7\text{Li} + n \rightarrow T + {}^4\text{He} + n - 2,47 \text{ МэВ}.$

При температуре, создаваемой при взрыве бомбы расщепления, реакция (1) развивается в 100 раз быстрее, чем следующий самый быстрый кандидат. Объединение реакций (2) и (3), которые, в свою очередь, в 10 раз быстрее реакции (4). Скорость реакций (1...4) увеличивается

с ростом температуры по экспоненциальному закону, но не пропорционально относительно друг друга. В случае высоких температур скорость реакции (4) начинает превышать скорость реакций (2) и (3). Кроме перечисленных в списке, возможны и другие реакции синтеза между изотопами, но скорости этих реакций слишком низки.

Некоторые дополнительные важные сведения об этих реакциях.

- Энергия нейтрона, произведенного в реакции (1), чрезвычайно высока – 14,06 МэВ, энергия альфа-частицы (ядра  $^4\text{He}$ ) составляет 3,52 МэВ.
- Энергия нейтрона, произведенного в реакции (2), – 2,45 МэВ (подобно наиболее быстрым нейтронам при делении), энергия  $^3\text{He}$  – 0,82 МэВ. Баланс энергии в реакции (3) – 1,01 МэВ для тритона и 3,03 МэВ для протона. Обе реакции D+D (2 и 3) равновероятны.
- В реакции (4) альфа-частица уносит 3,67 МэВ, протон – 14,67 МэВ.
- Строго говоря, реакции (5) и (6) – не термоядерные реакции. Это – нейтронные реакции, подобны делению, и не требуют высокой температуры или давления, а только нейтронов с энергией нужного диапазона. Однако это различие обычно игнорируется в литературе о ядерном оружии. Для реакции ( $^6\text{Li} + n$ ) необходимо, чтобы энергия нейтронов была ниже 1 МэВ. Реакция ( $^7\text{Li} + n$ ) начинается только тогда, когда энергия нейтронов превышает 4 МэВ.

### 2.3. Ядерно-энергетические транспортные установки

Атомные ледоколы строятся с целью обеспечения проводки судов вдоль Арктического побережья. Ледоколы используются при перевозке различных грузов, в основном железной руды из Норильска на Кольский полуостров, где руда переправляется на обогатительные предприятия Мурманской области. Протяженность этого маршрута составляет около 3 000 км.

Таблица 2.2

*Атомные ледоколы России*

Название	Год	Класс постройки
«Ленин»	1959	Выведен из эксплуатации в 1989 г.
«Арктика»	1975	«Арктика»
«Сибирь»	1977	«Арктика»
«Россия»	1985	«Арктика»
«Севморпуть»	1988	«Лихтеровоз»
«Таймыр»	1989	«Таймыр»
«Советский Союз»	1990	«Арктика»
«Вайгач»	1990	«Таймыр»
«Ямал»	1993	«Арктика»

### ***Ядерная энергетическая установка***

Атомные ледоколы «Таймыр», «Вайгач», лихтеровоз «Севморпуть» оборудованы атомной энергоустановкой типа КЛТ-40 с одним реактором, ледоколы типа «Арктика» – ОК-900 с двумя водо-водяными реакторами. Активная зона реакторов этого типа имеет около 1,5 м в высоту и около 1 м в диаметре и включает 241...247 тепловыделяющих сборок. Обогащение топлива не превышает 30...40 % по урану-235. При нормальной эксплуатации перезарядка топлива производится каждые три (четыре) года. Эта операция проводится на РТП «Атомфлот».

### ***Атомные подводные лодки и надводные корабли***

С 1955 г. по 1996 г. в бывшем СССР построено около 250 атомных подводных лодок и 5 надводных кораблей. Помимо этого был сконструирован ядерный реактор (класса «Нюрка»), который предполагалось устанавливать на дизельные подводные лодки. К Северному флоту приписано 2/3 всех атомных подводных лодок России, 1/3 приходится на Тихоокеанский флот. На Черноморском и Балтийском флоте атомные подводные лодки не базируются. К концу 80-х годов по общему количеству атомных и дизельных подводных лодок СССР превзошел подводные флоты всех государств, включая США. Согласно условиям договоров СНВ-1 и СНВ-2 и в результате физического и морального старения уже выведено из боевого состава ВМФ России 138 атомных подводных лодок. На сегодня в боевом составе Северного флота находятся 67 атомных подводных лодок и два атомных крейсера. В состав Тихоокеанского флота входят 42 атомные подводные лодки, один атомный крейсер и один атомный корабль связи.

Атомные подводные лодки (АПЛ) строились на четырех судостроительных заводах. Строительство первой АПЛ началось в 1955 г. на «Северном машиностроительном предприятии» в г. Северодвинске. С 1957 года к строительству АПЛ приступает Амурский завод (г. Комсомольск-на-Амуре), с достроечной базой в поселке городского типа Большой Камень. В 1960 г. атомные ПЛ начинают строить еще два завода: «Красное Сормово» (г. Нижний Новгород) и Ленинградское Адмиралтейское объединение (ЛАО, г. Санкт-Петербург). Атомные надводные корабли строились на Балтийском заводе в г. Санкт-Петербурге. Вплоть до 1992 года строилось и спускалось на воду от 5 до 10 АПЛ в год.

В основном АПЛ строились в г. Северодвинске. Всего здесь было спущено на воду 125 атомных подводных лодок, на Амурском заводе – 56 АПЛ, на ЛАО – 39 и на заводе «Красное Сормово» – 25. Те АПЛ, корпуса которых делали в Нижнем Новгороде, транспортировались

с помощью специализированного дока по системе внутренних вод России (Волжские и Карельские каналы) в Белое море, где достраивались и проходили испытания в г. Северодвинске.

Начиная с 1992 года количество строящихся атомных подводных лодок сократилось до одной-двух в год. Сегодня строительством АПЛ занимается только «Северное машиностроительное предприятие» в г. Северодвинске.

### *Атомные надводные корабли*

За период с 1974 г. по настоящее время на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге было построено 4 атомных крейсера («Адмирал Нахимов», «Адмирал Лазарев», «Адмирал Ушаков», «Петр Великий») и один атомный корабль связи («Урал»). «Адмирал Ушаков» и «Адмирал Нахимов» базируются на Северном флоте, «Адмирал Лазарев» и «Урал» – на Тихоокеанском.

В США на вооружении 10 авианосцев, оснащенных ядерно-энергетической установкой. Преимущества очевидны. Авианосец «Нимиц» несет 100 самолетов на борту и по сравнению с обычными авианосцами берет на 50 % больше запас горючего для самолетов и боеприпасов. В течение 13 лет не испытывает недостатка в топливе.

### *Ядерные энергетические установки*

Ядерные энергетические установки АПЛ также делятся на четыре поколения. В основном на АПЛ установлены модификации атомных установок с реакторами типа ВВЭР.

Отличие ядерных установок атомных станций от ЯЭУ атомных ПЛ главным образом состоит в том, что при меньших размерах на ядерных установках АПЛ достигается относительно большая выходная мощность.

Обогащение ядерного топлива АЭС по урану-235 не превышает 4 %, в то время как уровень обогащения урана-235 в топливе АПЛ может достигать 90 %. Такой высокий уровень обогащения топлива АПЛ позволяет производить его замену гораздо реже, чем это делается на АЭС.

### *Соединенные Штаты*

В настоящее время все американские подводные лодки имеют реакторные установки, 10 из 12 авианосцев также имеют реакторные установки, два атомных авианосца строятся. США отказались от ядерных реакторов для оснащения остальных кораблей. Продолжаются работы по увеличению срока эксплуатации реакторов для новых авианосцев (50 лет) и для подводных лодок с баллистическими ракетами следую-



щего поколения (40 лет). В 80-е годы ВМС США заказывали от 4 до 5 т U-235 высокообогащенного урана в год. Однако, численность американского подводного флота снизилась со 139 ПЛ в 1990 году до 73 (18 ПЛ с баллистическими ракетами и 55 ударных ПЛ) в 2000 году. Учитывая, что повышение качества позволит увеличить срок эксплуатации реакторов, ежегодная потребность подводных лодок США на сегодняшний день составляет приблизительно 2 т U-235. При номинальном сроке эксплуатации активной зоны это составляет в среднем 5 активных зон в год с 400 кг U-235 каждая.

Американская атомная подводная лодка «Огайо» имеет длину 170 м, ширину 18 м, развивает скорость 25 узлов. На борту лодки находится 24 баллистических ракеты по 14 боеголовок мощностью 150 кт.

### *Великобритания*

Британские подводные лодки работают на оружейном уране. По оценкам, период между перезагрузками реакторов ПЛ типа Vanguard с баллистическими ракетами составляет 8...9 лет. Активная зона реакторов для нового поколения ударных ПЛ рассчитана на 25...30 лет.

В 2010 году Великобритания будет иметь на вооружении, в соответствии с планами, меньшее число АПЛ по сравнению с сегодняшним (16 единиц).

### *Франция*

Наряду с решением о прекращении производства высокообогащенного урана, Франция намерена использовать низкообогащенный уран с содержанием U-235 менее 10 %.

Если судить по имеющимся на сегодня планам, к 2015 году Франция намерена сохранить то же количество атомных кораблей, которое было на январь 2001 года: 4 ПЛ с баллистическими ракетами, 6 ударных АПЛ и один авианосец.

### *Китай*

По имеющейся информации, реакторы китайских атомных судов работают на низкообогащенном топливе с уровнем обогащения в 5 %. Предполагают, что в 2010 году Китай поставит на вооружение одноили двухатомные подводные лодки с баллистическими ракетами и 5–6-ударные АПЛ.



*Атомный ледокол «Ленин»*

*Ледокол «АРКТИКА»*



*Ледокол «СИБИРЬ»*



*Ледокол «РОССИЯ»*



*Ледокол «СОВЕТСКИЙ СОЮЗ»*



*Ледокол «ЯМАЛ»*



*Ледокол «ТАЙМЫР»*



*Ледокол «ВАЙГАЧ»*



### ***Ядерные установки в космосе***

Когда человечество только делало свои первые шаги по просторам Вселенной, ни у кого не было сомнений, что пройдет совсем немного времени (лет 10...15, не более) и люди полетят к другим планетам. И понесут их в глубины космоса корабли, всю энергетику которых будут обеспечивать бортовые ядерные энергетические установки (ЯЭУ). Другой альтернативы в те годы просто не представляли.

Однако все сложилось иначе, и об использовании ядерной энергии в космосе чаще приходится писать историкам, а не космонавтам, которые могли бы эти самые ЯЭУ использовать уже вчера, сегодня и тем более завтра.

Вопрос об оснащении космических аппаратов (КА) надежными системами энергообеспечения встал перед конструкторами почти сразу после запусков первых искусственных спутников Земли (ИСЗ). Химические аккумуляторные батареи, применявшиеся в те годы, не могли удовлетворить стремительно растущие потребности, и волей-неволей пришлось заняться поиском альтернативных решений.

Проведенные специалистами исследования показали, что возможны два варианта решения возникшей проблемы.

Один из них предполагал применение для питания бортовой аппаратуры и служебных систем КА солнечных батарей (СБ). Этот вариант было достаточно просто реализовать в техническом плане, он был относительно дешев и весьма надежен при эксплуатации. Да и времени на то, чтобы воплотить задуманное в жизнь требовалось совсем немного. В этом направлении конструкторы и сосредоточили свои основные усилия, и, если перенестись в день сегодняшней, можно увидеть, что именно СБ остаются главным, а часто и единственным средством обеспечения энергией оборудования ИСЗ и космических кораблей (КК).

Другой вариант, который изучался специалистами, предусматривал использование ядерных источников энергии. В том, что такие идеи появились, нет ничего удивительного.

Во-первых, это действительно разумное решение, позволяющее в течение длительного времени обеспечивать работу аппаратуры КА. Правда, выгода эксплуатационная влекла за собой немало проблем технических. Но конструкторы посчитали, что их удастся достаточно быстро решить.

Во-вторых, надо вспомнить тот энтузиазм, часто переходивший в эйфорию, который царил в обществе тех лет. Тогда мы еще не знали, сколь опасным может быть «мирный атом», и свято верили, что «совсем недалеко то время, когда он придет в каждый дом».

Да, мы были довольно наивными в те годы. Но сколько интересных проектов благодаря этому родилось в те далекие уже годы: атомные самолеты, ракеты с атомными двигателями и т. д. и т. п. К сожалению, все они так и остаются нашим будущим.

Итак, создание ЯЭУ для ИСЗ и КК началось в нашей стране на рубеже 1950–1960-х годов. Приблизительно в то же время аналогичные работы были развернуты и в США, нашем основном конкуренте в развернувшейся космической гонке.

Первые устройства, созданные для нужд космической техники, использовали непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую на основе термоэлектрических и термоэмиссионных преобразователей. Подобные методы принципиально упрощали схему установок, исключали промежуточные этапы превращения энергии и позволяли создать компактные и легкие энергетические установки, что было важным в условиях жестких габаритно-весовых требований, предъявляемых к КА.

Первый опыт их применения в космосе датируется второй половиной 1965 г., когда были запущены два экспериментальных спутника связи типа «Стрела-1». Один из них, получивший официальное наименование «Космос-84», стартовал с космодрома Байконур 3 сентября, а другой, названный «Космосом-90», опять же с Байконура 18 сентября. На борту обоих КА были размещены радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ) «Орион-1», содержащие полоний-210. Вес генераторов составлял 14,8 кг, электрическая мощность 20 Вт, срок работы – 4 месяца.

Это был эксперимент, который прошел довольно успешно. Вместе с тем, несмотря на небольшие размеры, простоту и относительную безопасность в эксплуатации, широкого распространения РИТЭГ в космосе не получили. В первую очередь это было обусловлено тем, что для различных КА разрабатывались устройства, конструктивно отличавшиеся друг от друга применявшимися изотопами, термоэлектрическими материалами и рядом других параметров. Это существенно усложняло и удорожало процесс создания подобных установок. Если добавить, что они обладали низкой энергоемкостью, то станет понятным, почему их применение было ограничено.

В последующие годы велось создание РИТЭГ повышенной мощности и увеличенного ресурса, которые можно было бы использовать на луноходах и автоматических межпланетных станциях (АМС). К сожалению, нет достоверной информации обо всех отечественных КА, на борту которых находились РИТЭГ различных модификаций. Кроме уже упомянутых, «Космоса-84» и «Космоса-90», радиоизотопные термоэлектрические генераторы были установлены на «Луноходе-1» и «Луноходе-2», доставленных на поверхность нашего естественного спутника АМС «Луна-17» и АМС «Луна-21», соответственно, еще одном «Луноходе», разбившемся при аварийном старте 19 февраля 1969 г., на АМС типов «Венера», «Марс», «Вега», «Фобос», запущенных в период 1969–1996 гг.

Последние РИТЭГ (2 штуки, модель РИТЭГ «Ангел») были установлены на борту АМС «Марс-8», запущенной 16 ноября 1996 г. Ракета-носитель «Протон-К» успешно вывела аппарат на околоземную орбиту, но большего сделать не смогла – сутки АМС кружила вокруг Земли, а затем возвратилась на родную планету. Красная планета, яв-

лявшаяся целью миссии, так и не была покорена. Запуском «Марса-8» пока заканчивается история использования РИТЭГ в космосе. Не исключено, что через несколько лет о них вспомнят. Но произойдет это лишь в том случае, если удастся реализовать программу «Фобос-Грунт», предусматривающую доставку на Землю образцов породы с поверхности спутника Марса – Фобоса.

В американской программе исследования Луны использовался комплекс научной аппаратуры для измерения магнитных полей, пыли, солнечного ветра, ионных потоков и сейсмической активности. Комплекс питался электроэнергией от источника мощностью 74 Вт при напряжении 16 В, работавшего на изотопе плутоний-238. Срок службы – около двух лет. Для источника требовалось около 2,6 кг изотопа. Полная масса генератора составила 20,2 кг, в то же время масса генератора тех же параметров, работающего от традиционных аккумуляторных батарей, составляла бы примерно 1,5 т. Источник обеспечивал выработку электроэнергии при колебаниях температур на Луне от  $-138$  до  $+121$  °С.

Кроме плутония-238, при работе ядерного реактора образуется ряд изотопов, пригодных для использования в качестве источников энергии в радиоизотопных генераторах. Эти изотопы производятся в ядерных реакторах в процессе поглощения нейтронов различными химическими элементами. Вот некоторые из них: кобальт-60; стронций-90 (период полураспада 28 лет); цезий-137 (период полураспада 30 лет); церий-144 (период полураспада 285 дней); полоний-210 (период полураспада 138 дней); кюрий-242 (период полураспада 162 дня); кюрий-244 (период полураспада 18 лет).

Как было сказано выше, применение РИТЭГ на КА было весьма ограничено. Более перспективным направлением стала разработка ЯЭУ с гомогенным реактором на быстрых нейтронах и термоэлектрическим генератором. Эти установки в современной литературе чаще всего именуются «Бук» или БЭС-5. Проведение работ по созданию БЭС-5 было определено постановлениями ЦК КПСС и Совета министров СССР. Над ними трудилась большая кооперация разработчиков, которая включала в себя объединение «Красная Звезда», Государственный научный центр «ФЭИ», Научно-технический центр «Исток», Российский научный центр «Курчатовский институт» и многие другие предприятия.

Первая эксплуатационная ЯЭУ БЭС-5 была установлена на ИСЗ «Космос-367», запущенном 3 октября 1970 г. Она проработала всего 110 мин.

На спутнике «Космос-1932» была установлена доработанная установка с 6-месячным сроком функционирования и электрической мощностью в конце ресурса 2 400 Вт. И хотя полет прошел нормально, от эксплуатации аппаратов с ЯЭУ было решено отказаться.



Основной причиной этого стало давление со стороны США и международных организаций, требовавших от Советского Союза «прекратить загрязнение космоса». Но немаловажным фактором стали и сравнительно низкие технические характеристики ЯЭУ.

За все годы запусков в нашей стране КА с ЯЭУ БЭС-5 на орбиту было отправлено 32 установки. Одна из них не долетела до космоса, две возвратились назад, а остальные до сего дня продолжают пребывать на высоте 700...800 км от Земли.

Параллельно с работами по созданию и доработке ЯЭУ БЭС-5 велась разработка целого спектра установок с мощностью от 10 до 500 и более кВт для выполнения широкого круга задач, среди которых были станция на Луне, экспедиция к Марсу, посещаемая космическая станция. К сожалению, они так и не вышли из области фантастики. В «железо» удалось воплотить только ЯЭУ «Топаз-1» (другое наименование «Тополь») и «Топаз-2» (другое наименование «Енисей»), но лишь первый побывал в космосе.

Первая установка была запущена в космос 1 февраля 1987 г. и проработала в составе КА «Космос-1818» в течение 142 сут. При этом удалось убедиться в соответствии характеристик ЯЭУ в течение заданного техническими условиями срока эксплуатации. Следующая установка, установленная на борту КА «Космос-1867», была выведена в космос 10 июля 1987 г. и проработала в течение 343 сут.

Прекращение работы ЯЭУ в обоих случаях было вызвано, в основном, окончанием запасов рабочего тела (цезия).

Схема работы термоэмиссионного преобразователя в принципиальном плане чрезвычайно проста. Он является в определенном смысле аналогом радиолампы (вакуумного диода), работающей в режиме генерации, а не усиления электрической мощности при подводе тепла. Применительно к термоэмиссионному реактору энергия преобразуется в электрогенерирующем элементе, в котором ядерное топливо (диоксид урана, обогащенный  $^{235}\text{U}$ ) размещено в сердечнике с оболочкой из тугоплавкого металла (молибдена, вольфрама), служащей катодом или эмиттером для электронов. Тепло, выделяющееся в реакции деления урана в реакторе, разогревает эмиттер до 1770...2070 К, в результате чего происходит эмиссия электронов. Попадая на анод (коллектор), электроны обладают достаточной энергией, чтобы во внешней замкнутой цепи между электродами (эмиттером и коллектором) произвести полезную работу во внешней нагрузке. Пары цезия, вводимые в межэлектродное пространство термоэмиссионного преобразователя, ионизируются. Образовавшиеся положительные ионы цезия компенсируют объемный отрицательный заряд эмиттированных электронов и тем са-

мым обеспечивают перенос электрического тока и получение электроэнергии в реакторе-преобразователе.

Успехи России, достигнутые в создании космических ЯЭУ, до настоящего времени не превзойдены специалистами других стран. По оценкам иностранных специалистов, опережение Россией других стран, работающих в этой области, составляет около 10...15 лет. Свидетельством мирового признания является получение Г.М. Грязновым и В.Я. Пупко в 1994 г. памятного знака к премии Шрайбера-Спенса «За выдающиеся достижения в области космической ядерной энергетики» на ежегодной конференции в Альбукерке (США). В последние годы усилия российских разработчиков были ориентированы главным образом на разработку проектов термоэмиссионных ЯЭУ «Топаз» второго поколения для перспективных энергетических потребностей космической техники с электрической мощностью от нескольких десятков до сотен киловатт и ресурсом до 7...10 лет, а также анализ возможностей схем космических ЯЭУ с вынесенными из активной зоны реактора термоэмиссионными преобразователями.

Первая и единственная американская ЯЭУ SNAP-10А с термоэлектрическим преобразованием (электрической мощностью 0,5 кВт) была выведена в космос в 1965 г.

В настоящее время Россия является единственной страной, имеющей утвержденную на правительственном уровне концепцию развития космической ядерной энергетики и программу работ по ее реализации. Принятая Правительством Российской Федерации в феврале 1998 г. «Концепция развития ядерной энергетики» предусматривает создание научно-технического задела, обеспечивающего к 2010 году возможность разработки ядерных установок мощностью до 100 кВт, имеющих ресурс не менее 5...7 лет, и решения с их использованием широкого круга перспективных задач как в околоземном космосе, так и в межпланетном пространстве. В дальнейшем должны быть созданы ядерные энергетические установки для решения задач, требующих энергопотребления 500 кВт и более. Концепция предусматривает широкое сотрудничество Российской Федерации с зарубежными странами в области космической ядерной энергетики.

Предпосылками для нового этапа внедрения ядерной энергетики в космосе являются:

- рост электропотребления космических аппаратов (до десятков и сотен киловатт);
- рост массы космических аппаратов до уровня, в несколько раз превышающего грузоподъемность самых тяжелых носителей (до 10 и более тонн на геостационарной орбите (ГСО));

- внедрение ТЭМ, обеспечивающих за счет одного источника энергии как доставку космического аппарата на рабочую орбиту, так и его последующее электроснабжение в течение всего срока активного существования;
- увеличение объема исследований в дальнем космосе;
- разработка двухрежимных ЯЭУ и бимодальных ЯДЭУ для работы в составе ТЭМ.

При использовании в составе ТЭМ в наибольшей степени проявляются такие достоинства ядерных установок, как:

- снижение удельной массы с ростом мощности;
- возможность форсирования мощности реактора;
- возможность обеспечения непрерывной работы двигательной установки космического аппарата на теневых участках без накопителей энергии;
- отсутствие необходимости в автономной системе ориентации энергоустановки космического аппарата;
- отсутствие деградации характеристик ядерного источника энергии в радиационных поясах Земли.

Транспортно-энергетические модули, по сравнению с традиционными средствами межорбитальной транспортировки и электроснабжения космических аппаратов, позволяют увеличить в 2...3 раза массу целевой аппаратуры космического аппарата и уровень ее энергообеспечения.

Возможны следующие два типа ядерных транспортно-энергетических модулей:

- на основе ЯЭУ и маршевой электроракетной двигательной установки (ЭРДУ);
- на основе бимодальных ЯЭДУ, в которых в одном реакторном блоке обеспечивается режим работы теплового ракетного двигателя с водородом в качестве рабочего тела и режим работы энергоустановки для питания целевой и служебной аппаратуры космического аппарата.

Перспективные космические задачи на ближайшие десятилетия следующие.

Связь  
и телевидение

- Спутниковые системы связи с высокой пропускной способностью
- Глобальные системы связи с подвижными объектами
- Высокопроизводительные глобальные информационные системы
- Непосредственное телевидение, многоканальное телевидение высокой четкости

Задачи экологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Захоронение радиоактивных отходов</li> <li>• Глобальный экологический мониторинг</li> <li>• Очистка околоземного пространства от антропогенного космического мусора</li> </ul>
Энергетика и производство в космосе	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Космическое производство</li> <li>• Дистанционное энергоснабжение космических аппаратов и производственных комплексов</li> </ul>
Научные задачи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фундаментальные исследования, в т. ч. с помощью космического радиотелескопа</li> <li>• Исследование Земли из космоса</li> <li>• Исследование астероидов, комет и планет</li> <li>• Исследование Солнечной системы</li> <li>• Транспортно-техническое обслуживание</li> <li>• Исследование Лунной базы</li> </ul>
Глобальные космические задачи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Энергоснабжение Земли из космоса</li> <li>• Освещение локальных участков Земли</li> <li>• Добыча сырья из астероидов</li> <li>• Разрушение ядер зарождающихся тайфунов</li> <li>• Защита от астероидов и комет</li> <li>• Восстановление озонового слоя Земли</li> <li>• Вывод в космос опасных производств</li> <li>• Борьба с парниковым эффектом</li> </ul>

Рассматривается проект реактора для фотонного двигателя, тепловая мощность 300 МВт, ресурс 50 лет, топливо – расплавленный плутоний.

Оксидное, карбидное и нитридное урановое топливо, используемое в космических энергетических реакторах и двигателях, разрабатывалось и испытывалось в течение последних 30 лет. Для космических ядерных ракет следующего поколения были предложены 4 вида топлива: диспергированное/композитное, керметное, с шаровой засыпкой, со структурой твердого раствора. Каждый из четырех видов топлива имеет свои преимущества и недостатки.

Диспергированное/композитное топливо представляет собой карбид урана, диспергированный в графитовых твэлах, через каналы которых проходит теплоноситель  $H_2$ . Топливо выдержало испытания при температурах до 2 550 К.

Керметное топливо состоит из  $UO_2$  или  $UN$ , диспергированных в ольфраме. Керметы совместимы с  $H_2$ , устойчивы к термическому удару, удерживают газообразные продукты деления. Вместе с тем реакторы с керметным топливом имеют низкую силу тяги (массу), температуру и большой удельный импульс.

В реакторах с шаровой засыпкой используют слой из сферических твэлов (U, Zr)С, находящихся внутри концентрических пористых спеченных труб; через слой шаровых твэлов проходит  $H_2$ . Потенциально реакторы с шаровой засыпкой обеспечивают высокую силу тяги (массу), удельную энергию и удельный импульс. Однако эти реакторы подвержены значительной потере топлива, большому выходу газообразных продуктов деления и чувствительны к блокированию потока теплоносителя.

Топливо со структурой твердого раствора представляет собой трубы и стержневые твэлы, изготовленные из твердого раствора (U, Zr/Nb)С. Имея длительный срок службы и высокую температуру, данный вид топлива труден в изготовлении, подвержен растрескиванию и выходу продуктов деления.

Спутник с ЯЭУ для осуществления глобальной связи должен был обеспечивать: связь всех видов Вооруженных сил СССР с удаленными театрами военных действий, районами дислокации войск, командованием стран социалистического лагеря, с отдельными, в том числе подвижными, объектами вооруженных сил стратегического назначения (самолеты, корабли, подводные лодки, спутники специального назначения); связь центра с отдаленными районами страны и другими континентами; передачу и обмен программами телевидения и радиовещания внутри СССР и с зарубежными странами, а также использоваться для других нужд народного хозяйства.

Вес спутника на орбите 16 т. Длина – 20 м, диаметр 4...5 м. Время работы – 3 года. Электрическая мощность ЯЭУ – 600 кВт. Изучались три варианта космического комплекса с применением ЯРД:

- 1) трехступенчатый носитель на базе блоков А и Б основного варианта с III ступенью, имеющей ядерную двигательную установку;
- 2) трехступенчатый носитель с ЯРД на II и III ступенях и блоком А исходного варианта в качестве I ступени;
- 3) двухступенчатый носитель на базе блока А основного варианта со II ступенью, имеющей ядерную двигательную установку.

Проведенные исследования показали:

- наиболее перспективным направлением повышения эффективности носителя Н-1 является создание на его базе двухступенчатых носителей с ядерными двигателями на II ступени, обеспечивающими резкое увеличение веса полезного груза, выводимого на орбиту ИСЗ (в 2...2,5 раза для ЯРД типа А и до 6...10 раз для ЯРД типа В);
- при доставке груза на Луну применение ЯРД типа А могло обеспечить увеличение веса полезного груза на 75...90 % по сравнению с использованием ЖРД на  $O_2+H_2$ , а применение ЯРД типа В – на 135...175 %.

Применение ЯРД позволяло организовать двухстороннюю транспортную связь с Луной, обеспечивая при одном пуске носителя с кислородно-водородной III ступенью доставку на Луну полезных грузов, достигающих большого веса (до 10...12,5 т с использованием ЯРД типа А и до 18...24 т с использованием ЯРД типа В), с последующим возвращением значительных космических объектов (5 т) к Земле.

При осуществлении экспедиции на Марс использование в составе ракетных космических комплексов форсированных ЯРД типа А могло снизить суммарный вес, выводимый на орбиту ИСЗ, на 40...45 % по сравнению с применением кислородно-водородных ЖРД. Применение ЯРД типа В могло довести выигрыш в суммарном весе на орбите ИСЗ до 50...60 %.

Высокая удельная тяга ЯРД типа В позволяла обеспечить расширение допустимого диапазона дать старт к Марсу либо существенно сократить суммарное время проведения экспедиции при сравнительно небольших резервах стартового веса.

14 января 2004 г. президент США Д. Буш выступил с посланием Конгрессу: «Мы должны предпринять длительные экспедиции на Луну уже к 2015 г. для расширения сферы обитания и проведения там соответствующих работ в будущем».

Разработана ядерно-энергетическая установка мощностью 200 кВт на основе реактора на быстрых нейтронах (RAPID-L), которая была ориентирована на эксплуатацию в условиях лунной базы. При этом любые неполадки в системе управления, ошибки оператора и вмешательство террористов в работу реактора приводят либо к стабилизации режима работы установки, либо к автоматическому останову реактора.

***Применение ядерного ракетного двигателя  
принципиально нового типа позволит сократить  
время полета к Марсу до двух недель***

Так считает израильский исследователь Югал Ронен (Yigal Ronen), физик-ядерщик из Университета имени Бен-Гурион, предлагающий использовать в качестве атомного топлива изотоп америций-242 (Am-242). Этот изотоп не очень широко распространен в природе, но способен дать необходимый эффект по сравнению с традиционными химическими и уже разработанными ядерными двигателями на другом ядерном топливе. Проводя эксперименты, Ронен выяснил, что деление ядерного ядра у Am-242 происходит даже тогда, когда он сформирован в тонкие пленки до 1 мм толщиной. Выделившаяся при делении атомных ядер энергия способна нагреть газ, например водород, помещенный между пластинами, до 250 тыс. градусов, и будет являться ракетным топливом,

позволит космическому аппарату развивать скорость до 80 км/с. По расчету Ронена такой двигатель будет потреблять около 375 г Am-242 в сутки и для полета на Марс будет достаточно нескольких килограммов ядерного топлива. Am-242 в земных условиях получается путем бомбардировки нейтронами другого изотопа Am-241 и пока еще довольно дорог в производстве, но производство достаточного его количества вполне достижимо. Ронен считает америций топливом будущего. Разрабатывая двигатель, Ронен не учитывал многие аспекты как технического, так и экологического характера. В случае организации такого производства можно ожидать сильное противодействие антиядерных активистов, категорически возражающих против любого использования двигателей на ядерном топливе для космических исследований. Но проект довольно интересен, и хотелось бы, чтобы он был хотя бы опробован в обозримом будущем.

## АМЕРИКАНСКИЙ АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

### Письмо А. Эйнштейна Президенту США Ф. Рузвельту

Альберт Эйнштейн

Лонг-Айленд

2 августа 1939 г.

Ф.Д. Рузвельту

Президенту США

Белый Дом

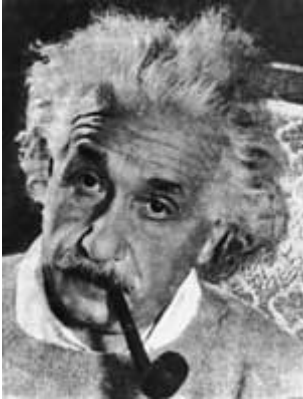
Вашингтон, округ Колумбия

**Сэр**, последняя работа Э. Ферми и Л. Сцилларда, результаты которой мне сообщили в докладе, привела меня к убеждению, что уран достаточно быстро может стать новым важным источником энергии в самое ближайшее время...

... Это новое явление может также привести к созданию бомбы...

Я знаю, что Германия прекратила продажу урана из шахт в Чехословакии.

*Искренне Ваш, Альберт Эйнштейн*

Март 1939 г.	Л. Сциллард, Э. Ферми информируют Правительство США о возможном влиянии атомных исследований на технику ведения войны	 <p style="text-align: center;"><i>Альберт Эйнштейн – выдающийся немецкий физик, лауреат Нобелевской премии 1921 года</i></p>
Октябрь 1939 г.	Президенту США Ф. Рузвельту вручены письмо и меморандум, подготовленные А. Эйнштейном и группой выдающихся европейских физиков, эмигрировавших в США, о возможности создания ядерного оружия	
Март 1940 г.	А. Эйнштейн обращает внимание Президента США на то, что в Германии после начала Второй мировой войны заметно возрос интерес к урану	
Декабрь 1941 г.	Администрацией США принято решение о выделении необходимых ресурсов на создание ядерного оружия	
Август 1942 г.	В США программе работ по созданию ядерного оружия присвоено условное наименование «Манхэттенский проект»	



Сентябрь 1942 г.	Административным руководителем Манхэттенского проекта назначен генерал Л. Гровс, который приглашает Р. Оппенгеймера для научного руководства Лабораторией по проблемам атомной бомбы	 <p><i><b>Генерал-майор Лесли Гровс – директор Манхэттенского проекта по созданию атомной бомбы</b></i></p>
Ноябрь 1942 г.	В районе г. Лос-Аламос, штат Нью-Мексико, создан специальный Манхэттенский инженерный округ	
Июль 1943 г.	Р. Оппенгеймер назначен директором Лос-Аламосской лаборатории	
Август 1943 г.	Ф. Рузвельт и У. Черчилль принимают решение об интенсификации всех работ по созданию ядерного оружия и о запрете на передачу информации о ядерном оружии третьим странам, кроме как по взаимному согласию	
Октябрь 1943 г.	В США создано специальное разведывательное подразделение «Алсос» для сбора информации о состоянии работ по созданию ядерного оружия в Германии и других странах	
Январь 1944 г.	В Лос-Аламос для участия в работах по созданию ядерного оружия в соответствии с решением Ф. Рузвельта и У. Черчилля от августа 1943 г. прибыла из Великобритании группа из 28 ученых; несколько позже в Лос-Аламос прибыл Н. Бор	 <p><i><b>Роберт Оппенгеймер – директор Лос-Аламосской лаборатории</b></i></p>
Февраль 1944 г.	Действиями английских ВВС и норвежских подпольщиков уничтожены запасы тяжелой воды, что фактически вывело Германию из гонки за атомной бомбой	
Март 1944 г.	Н. Бор в меморандуме на имя Президента США и премьер-министра Великобритании предлагает информировать СССР о реализации проекта создания ядерного оружия, с тем чтобы своевременно начать переговоры по послевоенному контролю и предотвратить гонку ядерных вооружений. Предложение не принято по инициативе У. Черчилля	
Март 1944 г.	В США начато планирование полномасштабных испытаний атомной бомбы под условным наименованием «Тринити»	

<p>Сентябрь 1944 г.</p>	<p>В. Буш и Д. Конант – члены Военно-политического комитета, курирующего от Правительства США Манхэттенский проект – в меморандуме на имя министра обороны Г. Стимсона предлагают включить СССР в систему контроля над ядерным оружием, который осуществлялся бы международным органом «во избежание нежелательного осложнения отношений». Предложение не принято</p>	
<p>Апрель 1945 г.</p>	<p>Генерал Л. Гровс направляет Председателю Объединенного Комитета Начальников Штабов Д. Маршаллу меморандум, в котором, суммируя информацию группы «Ал-сос», предлагает считать германский урановый проект «закрытым»</p>	
<p>Апрель 1945 г.</p>	<p>Министр обороны США Г. Стимсон и помощник скончавшегося 12 апреля Ф. Рузвельта Д. Бирнс докладывают новому Президенту США Г. Трумэну об атомной бомбе: «...мы создаем оружие, способное уничтожить весь мир...», «...эта бомба позволит нам в конце войны диктовать свои условия»</p>	<p><i>Лео Сциллард – венгерский физик, один из инициаторов работ по созданию атомной бомбы в США</i></p>
<p>Май 1945 г.</p>	<p>В Лос-Аламосе (США) работает назначенный Г. Трумэном Целевой комитет по практической реализации Манхэттенского проекта; тротильный эквивалент урановой бомбы оценен в 5...15 тыс. т, плутониевой – в 20 тыс. т; в качестве целей бомбардировки предварительно выбраны 4 больших города Японии – Киото, Хиросима, Кокура, Икогама</p>	
<p>Май 1945 г.</p>	<p>В Пентагоне заседает Внутренний комитет под руководством генерала Л. Гровса – обсуждает влияние ядерного оружия на послевоенное мироустройство; рекомендовано провести атомные бомбардировки городов Японии без предупреждения; обсуждено и не принято предложение Д. Маршалла о приглашении двух советских ученых на испытания «Тринити»; прогнозируется появление ядерного оружия в СССР через 10...15 лет</p>	<p><i>Нильс Бор – выдающийся датский физик, лауреат Нобелевской премии 1922 года, участник Манхэттенского проекта</i></p>

Июль 1945 г.	Объединенный политический комитет на уровне руководителей США и Великобритании одобряет применение атомных бомб против Японии
16 июля 1945 г.	На полигоне Аламогордо (штат Нью-Мексико) успешно осуществлен взрыв первой в истории человечества атомной бомбы мощностью 21 тыс. тонн ТНТ
Июль 1945 г.	В качестве объектов атомной бомбардировки определяются японские города Хиросима, Кокура, Нагасаки, Ниигата
24 июля 1945 г.	Президент США Г. Трумэн в ходе Потсдамской конференции сообщает И.В. Сталину: «...мы получили новое оружие необыкновенной разрушительной силы...»; И.В. Сталин не проявил к этому сообщению видимого интереса
6 августа 1945 г.	В 8 ч 16 мин 2 с по местному времени США осуществили первую атомную бомбардировку Японии; мощность взорванной на высоте 570 м над г. Хиросима урановой бомбы составила ~15 тыс. тонн ТНТ
9 августа 1945 г.	В 11 ч 02 мин по местному времени США осуществили вторую атомную бомбардировку Японии; мощность взорванной на высоте 500 м над г. Нагасаки плутониевой бомбы составила ~21 тыс. тонн ТНТ



*Рис. 2.9. Американские атомные бомбы «Литтл бой» («Малыш») пушечного типа (мощностью 21 кт ТНТ) на основе урана-235 и «Фэт Мэн» («Толстяк») с использованием принципа имплозии на основе плутония-239 (мощностью 21 кт ТНТ), сброшенные на японские города Хиросима и Нагасаки*

Таким образом, в США усилиями международного сообщества выдающихся ученых, конструкторов, инженеров было впервые в мире создано ядерное оружие. Объединяющей идеей в работе этих специалистов являлось стремление упредить появление такого оружия в фашистской Германии.

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АТОМНОГО ПРОЕКТА ВЕЛИКОБРИТАНИИ**

В марте 1940 года ведущие ученые и руководители высшего звена Англии были ознакомлены с содержанием меморандума «О создании "супербомбы", основанной на ядерной цепной реакции», подготовленного двумя физиками-эмигрантами Р. Пайерлсом и О. Фришем. Авторы убедительно показали, что создание атомной бомбы практически возможно уже в ближайшее время. В меморандуме был также описан процесс работы завода по производству урана-235 методом газовой диффузии.

В апреле 1940 года был создан комитет по разработке урановой бомбы (комитет MOD). В двух докладах, подготовленных комитетом MOD под руководством министра авиационной промышленности Дж. Мур-Брабазона, утверждалось, что «можно создать урановую бомбу, мощь которой будет эквивалентна взрыву ТНТ(1 800 т). Урановая бомба будет поражать не только силой взрыва, но радиоактивностью, которая сделает пространство вокруг места взрыва бомбы опасным для человеческой жизни на длительное время» [14].

Премьер-министр У. Черчилль поручил члену кабинета Дж. Андерсену возглавить работы по атомному проекту в Англии, который получил условное название «Tube Alloys».

Французская группа физиков (Г. Хальбан и Л. Коварски) передали летом 1940 года, после оккупации немцами Франции, результаты своих исследований, часть оборудования и 185 кг тяжелой воды.

11 октября 1941 года Ф. Рузвельт обратился к У. Черчиллю с предложением делать атомную бомбу совместно. В 1941–1942 гг. состоялся обмен информацией между учеными США, Англии и Канады по атомному проекту. В августе 1943 года в Канаде Ф. Рузвельт и У. Черчилль подписали секретное соглашение (Квебекское соглашение)



*Джон Кокрофт –  
английский физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1951 года*



*Джэймс Чэдвик –  
английский физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1935 года*

о сотрудничестве между двумя странами по созданию атомной бомбы и об использовании после войны атомной энергии в мирных целях. В конце 1943 года несколько ведущих физиков, участников атомного проекта, прибывают в США (Дж. Чедвик, Р. Пайерлс, М. Олифант, К. Фукс и др.).

4 июля 1945 года английское правительство дало согласие на применение атомной бомбы против Японии.

В 1946 году после успешного завершения Манхэттенского проекта английские физики возвращаются в Англию.

Летом 1946 года Конгресс США принял закон Макмагона, запрещающий передачу атомной информации кому бы то ни было, включая и Великобританию.

Английское правительство приняло окончательное решение о создании ядерного оружия в январе 1947 года. Организационная часть проекта была поручена маршалу авиации лорду Порталу, научная часть – доктору Пинни. Лорд Портал нес полную ответственность за реализацию атомного проекта перед правительством [14]. Английские ученые и специалисты начинали не с нуля. Многие из них работали в США и Канаде в рамках Манхэттенского проекта, однако, создать собственную атомную бомбу удалось лишь в 1952 году.

Англичане просили испытать атомную бомбу на американском полигоне, но им было отказано. Пришлось оборудовать собственный полигон на стровах Монте-Белю вблизи Австралии.

3 октября 1952 года в 9 часов 15 минут была взорвана первая английская плутониевая атомная бомба.

Создание атомной бомбы обошлось Англии в 150 млн фунтов стерлингов. Кроме созданной в годы войны собственной научной и технологической базы, значимый опыт и знания английские специалисты приобрели в США и Канаде в рамках работы над Манхэттенским проектом.



***Рудольф Пайерлс – немецкий физик***



***Клаус Фукс – немецкий физик***



***Отто Фриш – австрийский физик***

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АТОМНОГО ПРОЕКТА ГЕРМАНИИ

Накануне Второй мировой войны в Германии работала большая группа ученых, внесшая значительный вклад в развитие ядерной физики, было построено четыре циклотрона, имелись хорошо оборудованные физические лаборатории.

О. Ган и Ф. Штрассман опубликовали в январе 1939 года статью «О доказательстве возникновения щелочно-земельных металлов при облучении урана нейтронами и их свойствах».

В конце мая 1942 года министр вооружений и военной промышленности А. Шпеер, фельдмаршал Мильх, генерал Фромм, генерал-адмирал Ватцель и физики О. Ган и В. Гейзенберг собрались на совещание, посвященное состоянию дел в ядерной физике.

В. Гейзенберг сказал, что техническая база для создания атомной бомбы может быть создана не ранее, чем через 2 года, если будет всемерная поддержка. Столь длительный срок

В. Гейзенберг объяснял как отсутствием специалистов-ядерщиков (они были в армии), так и слабой технической базой (в распоряжении у немцев был один маломощный циклотрон).

Над созданием уранового реактора с 1940 года работали две постоянно конкурирующие группы физиков под руководством Дибнера и В. Гейзенберга. В конце 1944 года объединенной группе этих физиков под административным руководством Герлаха удалось добиться самоподдерживающегося режима работы реактора, находящегося в Берлине.

Немцы не знали о возможности получения плутония (В. Боте на основе распада 93-го элемента с излучением электрона только предполагал возможность существования 94-го элемента).



*Лизе Мейтнер  
в 1938 г. вместе  
с О. Фришем открыла  
деление урана*



*Вернер Гейзенберг –  
немецкий физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1932 года, один  
из руководителей  
немецкого атомного  
проекта*

Единственным методом для разделения изотопов урана, который рассматривался немцами, был метод центрифугирования, работами по которому руководил Гартек.

Осенью 1943 года А. Шпеер приказал остановить работы по Урановому проекту, разрешив создание только уранового реактора для возможного оснащения боевых кораблей. Однако, после прекращения поставок из Португалии вольфрама на военные заводы было передано 1 200 тонн урана для производства противотанковых боеприпасов. По мнению А. Шпеера, Германии при максимальной концентрации всех сил удалось бы создать атомную бомбу не ранее 1947 года.

Миссия «Алсос» весной 1945 года захватила 1 100 т урановой руды (вывезенной немцами из Бельгийского Конго в 1940 году), а также 1,5 т металлического урана и весь запас тяжелой воды. Захват этой руды, составляющий практически весь европейский запас уранового сырья, полностью ликвидировал угрозу возможного применения немцами атомной бомбы.

По мнению Л. Гровса, работы в области атомной энергии в Германии не вышли из лабораторной стадии, при этом сами немецкие физики считали, что создание атомного оружия вряд ли осуществимо. При этом в организации работ отсутствовали единое руководство, единство цели и координация работ различных учреждений.



**Макс фон Лауэ** –  
немецкий физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1914 года



**Отто Ган** –  
немецкий физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1945 года



**Вальтер Боте** –  
немецкий физик,  
лауреат Нобелевской  
премии 1954 года

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АТОМНОГО ПРОЕКТА ФРАНЦИИ**

Фредерик Жолио-Кюри вместе с Х. Хальбаном и Л. Коварски в 1939–1940 гг. первыми в мире начали работы по проектированию ядерного реактора на основе природного урана с тяжелой водой в качестве замедлителя.

В связи с оккупацией немцами Франции в 1940 году Х. Хальбан и Л. Коварски вместе с оборудованием и запасами тяжелой воды (185 кг) переезжают в Англию. Там в конце 1940 года они продемонстрировали практическую возможность получения атомной энергии непосредственно из природного урана с использованием тяжелой воды.

В октябре 1945 года был создан Комиссариат по атомной энергии (СЕА), руководителем которого был назначен Ф. Жолио-Кюри. 15 декабря 1948 года под его руководством был осуществлен пуск тяжеловодного реактора. В 1950 году руководителем СЕА был назначен Ф. Перрен.

К началу 1954 года Франция имела два тяжеловодных реактора. Планировалось построить еще два уран-графитовых реактора.

В конце 1956 года (после Суэцкого кризиса) было принято окончательное решение о создании ядерного оружия [20]. 5 декабря 1956 года в составе Комиссариата по атомной энергии был создан Комитет по разработке атомной бомбы, 19 декабря 1956 года утверждена программа создания ядерных сил Франции.

В начале 1958 года с разрешения председателя Комиссии по атомной энергии США Л. Страуса группа французских специалистов посетила Невадский испытательный полигон и закупила оборудование, которое использовалось при проведении первых французских ядерных испытаний [20].

13 февраля 1960 года в районе Реггана в Алжире, в пустыне Сахаре Франция провела первое ядерное испытание.



**Фредерик Жолио-Кюри** – французский физик, лауреат Нобелевской премии 1934 г.



**Франсуа Перрен** – французский физик



## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АТОМНОГО ПРОЕКТА КИТАЯ**

14 сентября 1954 года	Заместитель председателя Чжу Дэ, министр обороны КНР Пэн Дэ Хуай вместе с министрами обороны других социалистических стран присутствовали в СССР на Тоцких войсковых учениях с применением атомной бомбы (40 кт ТНТ) [1].	
15 января 1955 года	Мао Дзэдун в ответ на американские угрозы применить против Китая ядерное оружие окончательно решил на расширенном заседании Секретариата ЦК КПК, что Китай должен разработать собственную атомную бомбу с помощью СССР или без его участия [10]	<i>Ван Гань-чан – китайский физик</i>
27 апреля 1955 года	Первое соглашение между СССР и КНР о поддержке развития исследований в области атомной энергии и ядерной физики в КНР	
15 мая 1955 года	Обсуждение возможностей начала ядерной оружейной программы КНР под председательством Мао Дзэдуна	<i>Пан Хуань-у – китайский физик</i>
16 ноября 1956 года	Создание ядерного министерства КНР – Третьего министерства машиностроения, переименованного в феврале 1958 года во Второе министерство	
Апрель 1958 года	Принято решение о строительстве полигона для ядерных испытаний. По предложению советских специалистов было выбрано место в северо-западной части Синьдзянского уезда (полигон Лоб Нор)	<i>Чжу Гуан-я – китайский физик</i>
31 мая 1958 года	Утверждены места для создания основных комплексов ядерной промышленности КНР, в том числе завода по производству ядерного топлива в Батоу, комбината по обогащению урана в Ланчжоу, объединенного ядерного производства в Чжуване	
21 июня 1958 года	Мао Дзэдун поставил задачу, в соответствии с которой за 10 лет КНР должна создать атомную бомбу, термоядерное оружие и межконтинентальные ракеты	

20 июня 1959 года	Решение СССР не предоставлять КНР данных о технических особенностях атомной бомбы	
Начало 1960 года	Создание Института по разработке ядерного оружия в Пекине	
18 июля 1960 года	Посольство СССР в Пекине сообщило об отзыве всех советских специалистов и прекращении поставок оборудования	<i>Дэн Цзя-сянь – китайский физик</i>
1 сентября 1960 года	Урановый горный комбинат в Чэнсиане (Хэньяне) начал работы	
В течение 1950– 1960 гг	В Китай было направлено более 10 тысяч советских специалистов, включая непосредственных разработчиков ядерного оружия, а в СССР прошли подготовку и обучение около 11 тысяч специалистов и 1000 ученых [20]. СССР предоставил Китаю исследовательский реактор, циклотрон, обеспечил разведку урановой руды	
3 ноября 1960 года	Мао Дзэдун одобрил сроки испытания первой атомной бомбы в 1964 году [10]	<i>Чен Кай-цзя – китайский физик</i>
29 ноября 1963 года	Получена первая партия гексафторида урана (комплекс в Чжуване)	
14 января 1964 года	Получена первая партия высокообогащенного урана на комбинате в Ланчжоу	
Апрель 1964 года	Получены первые урановые детали для атомной бомбы (комплекс в Чжуване)	<i>Го Юн-хуай – китайский физик</i>
25 августа 1964 года	Выпуск первой урановой продукции на заводе в Батоу	

17 сентября 1964 года	Первое производство в Батоу лития, обогащенного по изотопу Li-6
16 октября 1964 года	Успешное испытание первой атомной бомбы КНР на основе высокообогащенного урана

3 декабря 1964 года	Второе Министерство КНР определило 1968 год как время испытания термоядерной бомбы
Октябрь 1965 года	Завод в Батоу произвел урановое топливо для реактора по производству плутония с графитовым замедлителем
9 мая 1966 года	Первое ядерное испытание КНР с использованием лития-6
Октябрь 1966 года	Пуск ядерного реактора в Чжуване для производства плутония
Февраль 1967 года	Завершение разработки первого термоядерного заряда
Май 1967 года	Завершение производства компонентов и сборка первого термоядерного заряда
17 июня 1967 года	Первое успешное испытание полномасштабного двухстадийного термоядерного заряда на основе U-235, U-238, лития-6 и дейтерия
27 декабря 1968 года	Испытание термоядерного заряда, в котором впервые в ЯИ КНР использовался плутоний. По оценкам различных специалистов помощь СССР в атомной области позволила Китаю существенным образом ускорить создание ядерного оружия

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА**

**Из Постановления Государственного Комитета Обороны СССР № 9887 от 20 августа 1945 года:**

*4. Для непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии урана и производству атомных бомб организовать при СНК СССР Главное управление – «Первое Главное управление при СНК СССР», подчинив его Специальному комитету при ГОКО.*

***Председатель Государственного Комитета Обороны И. Сталин***

11 февраля 1943 г.	Распоряжением ГОКО СССР создана Лаборатория № 2 АН СССР «...в целях раскрытия путей овладения энергией деления урана и исследования возможности военного применения энергии урана». Распоряжение предусматривало: «...научное руководство работами по урану возложить на профессора Курчатова И.В.»	  <b><i>Лаврентий Павлович Берия – председатель Специального комитета</i></b>
20 августа 1945 г.	За подписью И.В. Сталина принято постановление ГОКО СССР № 9887сс/оп об образовании руководящих органов атомной промышленности: Специальный комитет при ГОКО (Л.П. Берия – председатель); Технический совет при Специальном комитете (Б.Л. Ванников – председатель); Первое главное управление при СНК СССР	
30 августа 1945 г.	Организовано Первое главное управление (ПГУ) при СНК СССР (начальник ПГУ – Б.Л. Ванников)	

Сентябрь 1945 г.	По представлению Специального комитета СНК СССР принимает решение о проектных, строительных и исследовательских работах по урановому проекту, для чего в ведение ПГУ при СНК СССР передаются из различных отраслей необходимые заводы, конструкторские бюро, научно-исследовательские институты, поисковые геологические партии и другие предприятия и организации
8 апреля 1946 г.	Совет министров СССР принимает решение о создании Конструкторского бюро № 11 для разработки «опытных образцов реактивных двигателей» и назначении его начальником генерал-майора П.М. Зернова, главным конструктором – Ю.Б. Харитона
Июнь 1946 г.	Советом министров СССР принято постановление о создании в КБ-11 «реактивного двигателя специального» (РДС) и представлении вариантов РДС-1 и РДС-2 на испытания
Июнь 1946 г.	Советская делегация в Комиссии ООН по атомной энергии внесла проект Международной конвенции «О запрещении производства и применения оружия, основанного на использовании атомной энергии в целях массового уничтожения»
Апрель 1947 г.	Советом министров СССР принято постановление о строительстве в районе г. Семипалатинска ядерного полигона для испытания РДС-1; начальником полигона назначен генерал-лейтенант П.М. Рожанович, научным руководителем – М.А. Садовский
Ноябрь 1948 г.	Президент США Г. Трумэн утверждает план Комитета начальников штабов Вооруженных сил США по ведению ядерной войны против СССР (план «Пинчер»), предусматривавший удар 70 атомными бомбами по 50 городам Советского Союза, включая Москву и Ленинград
Апрель 1949 г.	Ю.Б. Харитон и К.И. Щелкин представляют председателю Специального комитета (Л.П. Берия) доклад о готовности РДС-1 к испытаниям
Август 1949 г.	И.В. Курчатовым, Ю.Б. Харитоном, Е.П. Славским, А.А. Бочваром, Г.Н. Флеровым, Я.Б. Зельдовичем и др. подписаны акты, подтверждающие годность плутониевого заряда к испытаниям
29 августа 1949 г.	В 4 часа по московскому времени на Семипалатинском ядерном полигоне успешно осуществлен взрыв первой советской атомной бомбы; мощность взрыва составила ~22 тыс. т ТНТ. Таким образом, атомная монополия США была ликвидирована Советским Союзом не через 10...15 лет, а через 4 года, что потребовало героических усилий и мобилизации всех ресурсов разоренной войной страны, на многие последующие годы стабилизировало международную обстановку и предотвратило возможные крупномасштабные военные конфликты

Родился в г. Сим Челябинской области. Физик. Окончил физико-математическое отделение Крымского университета. С октября 1925 г. работает в Ленинградском физико-техническом институте. С декабря 1932 г. – заместитель А.Ф. Иоффе в особой группе по ядру, ведет широкие исследования в области ядерной физики. С начала Великой Отечественной войны занимается вопросами защиты кораблей от магнитных мин, а также создания брони для танков. Осенью 1942 г. приступает, а с февраля 1943 г. становится научным руководителем прерванных войной работ по Атомному проекту и возглавляет Лабораторию N 2 АН СССР (с 1956 г. – Институт атомной энергии). С августа 1945 г. – член Специального комитета при ГОКО СССР и заместитель председателя Технического совета Спецкомитета, с 1949 г. по 1960 г. – председатель Научно-технического совета ЛГУ при СМ СССР Минсредмаша СССР. Под его руководством осуществлена разработка советского атомного и термоядерного оружия, заложены основы современной ядерной и термоядерной энергетики, сделаны открытия мирового уровня в области управляемого термоядерного синтеза, созданы ведущие научные школы физиков, получило широкое развитие международное сотрудничество в области мирного использования атомной энергии



**КУРЧАТОВ  
ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ  
(1903–1960)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1949, 1951, 1954), лауреат  
Ленинской  
(1956) и четырех  
Государственных  
(1942, 1949, 1951, 1953)  
премий СССР. Академик АН  
СССР (1943)*

Родился в г. Макеевке Донецкой области (Украина). Инженер-металлург. Участник Гражданской войны. После окончания Московского института цветных металлов и золота работал в алюминиевой промышленности. В 1946 г. переведен из Наркомата цветной металлургии СССР, где работал заместителем Наркома – начальником Главалюминия, в Первое главное управление при СМ СССР. Работая заместителем, первым заместителем начальника Первого главного управления при СМ СССР (1946–1947, 1949–1953), главным инженером – заместителем директора Комбината N 817 (1947–1949), заместителем, первым заместителем министра среднего машиностроения СССР (1953–1957), начальником Главного управления по использованию атомной энергии при СМ СССР (1956–1957), министром среднего машиностроения СССР (1957–1963, 1965–1986), председателем Государственного комитета по среднему машиностроению СССР (1963–1965), внес большой вклад в развитие отрасли. Под его руководством и при его непосредственном участии развивалась атомная наука и техника в СССР и странах Восточной Европы и Азии укреплялся ядерный щит страны, вводились в строй атомные электростанции и установки различного назначения, разрабатывались уникальные технологии по добыче урана, золота, производству минеральных удобрений, применению изотопов в медицине, сельском хозяйстве и других отраслях народного хозяйства, возводились новые современные атомграды



**СЛАВСКИЙ  
ЕФИМ ПАВЛОВИЧ  
(1898–1991)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1949, 1954, 1962),  
лауреат Ленинской (1980) и  
трех Государственных  
(1949, 1951, 1984)  
премий СССР*

Родился в г. Тараща Киевской области (Украина). Физик. Окончил Киевский университет. До 1943 г. работал в Ленинградском физико-техническом институте. В годы Великой Отечественной войны руководил работами по противоминной защите кораблей. К работам по Атомному проекту привлечен в 1943 г. Являясь директором Института физических проблем АН СССР, заместителем начальника Лаборатории № 2 АН СССР, директором Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, внес значительный вклад в развитие атомной науки и техники, в разработку термодиффузионного метода разделения изотопов урана, в создание ядерных реакторов для атомных электростанций, современного атомного подводного и ледокольного флотов страны. Его исследования эластичности и прочности резин и пластификации полимеров стали важным вкладом в решение проблемы получения высококачественных синтетических каучуков и пластмасс. Создатель школы физиков-ядерщиков. С 1961 по 1988 гг. – председатель НТС Минсредмаша СССР. В 1975–1986 гг. – президент АН СССР



**АЛЕКСАНДРОВ  
АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ  
(1903–1994)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1954, 1960, 1973), лауреат  
Ленинской  
(1959) и четырех  
Государственных  
(1942, 1949, 1951, 1953)  
премий СССР. Академик АН  
СССР (1953)*



Родился в г. Тбилиси (Грузия). Физик. Окончил Симферопольский педагогический институт. В предвоенные годы и в годы Великой Отечественной войны, работая в институте химической физики АН СССР, занимался вопросами физики горения и взрыва. Проведенные им исследования турбулентности с пламенем, выяснение ее роли в возникновении детонации, установлении зависимости скорости детонации в трубах от степени обработки стенок заставили пересмотреть классическую теорию детонации. К работам по Атомному проекту привлечен в 1946 г. Являясь заместителем Ю.Б. Харитона в КБ-11 в г. Арзамас-16 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Кремлев), с 1955 г. – главным конструктором и научным руководителем дублера КБ-11 в г. Челябинск-70 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Снежинск), принимал непосредственное участие в экспериментах по отработке взрывных систем и устройств автоматики для советского ядерного и термоядерного оружия. Участвовал в подготовке к взрыву в 1949 г. первой советской плутониевой бомбы на Семипалатинском полигоне



**ЩЕЛКИН  
КИРИЛЛ ИВАНОВИЧ  
(1911–1968)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1949, 1951, 1954), лауреат  
Ленинской (1958) и трех  
Государственных (1949,  
1951, 1953) премий СССР.  
Член-корреспондент АН  
СССР (1953)*

Генерал-полковник инженерно-артиллерийской службы. Родился в г. Баку (Азербайджан). Инженер-механик. Участник Гражданской войны. Окончил Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана. С 1933 г. – в оборонной промышленности: директор Тульского и Пермского оружейных заводов, начальник Главного мобилизационного управления Наркомата тяжелой промышленности СССР, заместитель Наркома оборонной промышленности СССР, Нарком вооружений СССР. С июля 1941 г. – заместитель Наркома вооружений СССР, а затем Нарком боеприпасов СССР. В августе 1945 г. назначается заместителем председателя Специального комитета при ГОКО СССР и одновременно возглавляет Первое главное управление при СНК СССР. С 1953 по 1958 гг. – первый заместитель министра среднего машиностроения СССР. В 1945–1949 гг. – председатель Технического совета Спецкомитета, Научно-технического совета ПГУ при СМ СССР. Под его руководством созданы первые атомные научные и промышленные центры страны, проведены разработка и успешные испытания ядерного оружия, заложены основы использования ядерных технологий для выработки электроэнергии в медицинских и иных народно-хозяйственных целях



**ВАННИКОВ  
БОРИС ЛЬВОВИЧ  
(1897–1962)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1942, 1949, 1954),  
лауреат двух  
Государственных  
(1951, 1953) премий СССР*

Генерал-лейтенант инженерно-технической службы. Родился в деревне Веприк Полтавской области (Украина). После окончания Ленинградского политехнического института – конструктор Кировского завода. В годы Великой Отечественной войны под его руководством разработаны и поставлены на серийное производство танки ИС (ИС-2 был признан лучшим тяжелым танком Второй мировой войны). К решению задач создания ядерного оружия привлечен в 1948 г. В качестве заместителя научного руководителя и главного конструктора КБ № 11 в г. Арзамас-16 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Кремлев), а с 1954 г. – директора, научного руководителя и главного конструктора филиала № 1 КБ-11 (Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова) – возглавлял работы по созданию ядерных и термоядерных зарядов, систем подрыва ядерных зарядов, приборов автоматики и контрольно-стендовой аппаратуры. В 1949 г. руководил сборкой и монтажом плутониевой бомбы. Один из разработчиков ядерного боеприпаса для первой советской межконтинентальной баллистической ракеты



**ДУХОВ  
НИКОЛАЙ  
ЛЕОНИДОВИЧ  
(1904–1964)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1945, 1949, 1954),  
лауреат Ленинской (1960)  
и пяти Государственных  
(1943, 1946, 1949, 1951,  
1953) премий СССР.  
Член-корреспондент  
АН СССР (1953)*

Академик АН СССР (1953). Родился в г. Москве. Физик. Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. В годы Великой Отечественной войны – инженер на военном заводе. К работам по Атомному проекту привлечён в 1948 г., являясь сотрудником научно-исследовательской группы И.Е. Тамма, а затем заместителем научного руководителя КБ-11 в г. Арзамас-16 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Кремлев), более 20 лет занимался вопросами разработки термоядерного оружия. Под его непосредственным руководством создана и испытана первая (1953) и самая мощная в мире (1961) водородная бомба. Один из инициаторов заключения Московского договора 1963 г. о запрещении испытаний ядерного оружия в трёх сферах (в атмосфере, воде и космосе). Идеи и работы А.Д. Сахарова по проблемам мюонного ядерного катализа и нестабильности протона, по созданию сверхсильных магнитных полей, в области гравитации и космологии, управляемой термоядерной реакции успешно реализуются сегодня многими научными центрами мира



**САХАРОВ  
АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ  
(1921–1989)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1954, 1956, 1962),  
лауреат Ленинской (1956)  
и Государственной (1953)  
премий СССР, Нобелевской  
премии мира (1975)*

Родился в г. Минске (Белоруссия). Физик. По окончании 3-го курса защитил кандидатскую диссертацию в Ленинградском университете. В 1931 г. начал работать в Институте химической физики АН СССР. В 1939 г. совместно с Ю.Б. Харитоном сделал расчёт цепной ядерной реакции деления урана. В начале Великой Отечественной войны развил теорию горения пороха в реактивных снарядах, что сыграло важную роль в повышении боевой мощности «Катюш». К работам по Атомному проекту привлечён в 1942 г. В КБ-11 в г. Арзамас-16 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Кремлев), возглавил отдел по созданию ядерных зарядов из полученных на предприятиях Южного и Северного Урала делящихся материалов плутония-239 и урана-235. Внёс большой вклад в развитие теории гомогенных реакторов на тепловых нейтронах и в теорию резонансного поглощения нейтронов ядрами урана-238, предсказал мюонный катализ, получил фундаментальные результаты в области астрофизики и космологии



**ЗЕЛЬДОВИЧ  
ЯКОВ БОРИСОВИЧ  
(1914–1987)**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1949, 1953, 1956),  
лауреат Ленинской (1956)  
и четырёх Государственных  
(1945, 1949, 1954, 1956)  
премий СССР.  
Академик АН СССР (1958)*

Родился в 1904 г. в г. Санкт-Петербурге. Физик и физикохимик. Окончил Ленинградский политехнический институт. Стажировался в Англии в лаборатории Э. Резерфорда. Работал в Ленинградском физико-техническом институте у А.Ф. Иоффе, а затем в Институте химической физики у Н.Н. Семёнова. Совместно с Я.Б. Зельдовичем сделал в 1939 г. расчёт цепной ядерной реакции деления урана. В годы Великой Отечественной войны участвовал в работах по боевому использованию суррогатированных взрывчатых веществ. К работам по Атомному проекту привлечён в 1942 г. В качестве научного руководителя и главного конструктора КБ-11 в г. Арзамас-16 (Всероссийский ядерный центр «ВНИИЭФ», г. Кремлев) осуществлял теоретическую проработку и координацию научно-исследовательских и конструкторских работ по созданию ядерных боеприпасов в СССР. Первая плутониевая (1949) и первая атомная (1951) бомбы, созданные под его руководством и при его непосредственном участии, покончили с монополией США на ядерное оружие. Внёс большой вклад в интеграцию усилий учёных по использованию атомной энергии только в мирных целях



**ХАРИТОН  
ЮЛИЙ БОРИСОВИЧ**

*Трижды Герой  
Социалистического Труда  
(1949, 1951, 1954), лауреат  
Ленинской (1956) и трёх  
Государственных (1949,  
1951, 1953) премий СССР.  
Академик АН СССР (1953)*



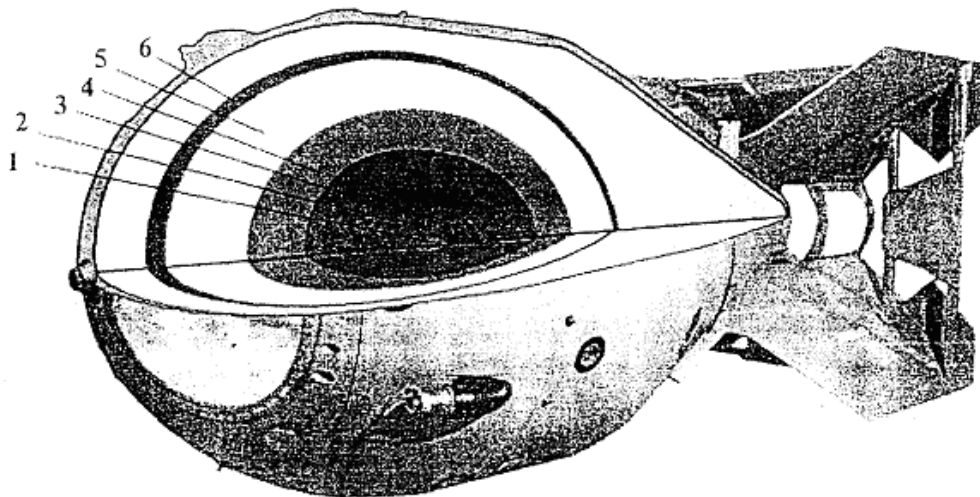
*Рис. 2.10. Первая советская атомная бомба РДС-1*



*Рис. 2.11. Взрыв атомной бомбы РДС-1 на Семипалатинском полигоне 29 августа 1949 года*

## ОБ УСТРОЙСТВЕ АТОМНОЙ БОМБЫ

Принципиальная схема первой советской атомной бомбы, являвшейся аналогом американской атомной бомбы Fat Man, изображена на рисунке.



*Рис. 2.12. Схема советской атомной бомбы:*

- 1 – нейтронный инициатор;*
- 2 – делящийся материал – плутоний;*
- 3 – металлический уран-238; 4 – алюминий;*
- 5 – взрывчатое вещество и фокусирующая система;*
- 6 – дюралюминиевый корпус*

Приведем некоторые характеристики американской атомной бомбы, содержащиеся в письме, направленном Л.П. Берии 18 октября 1945 года Наркомом Госбезопасности В.Н. Меркуловым. По агентурным материалам НКГБ СССР американская атомная бомба представляла собой снаряд грушевидной формы с максимальным диаметром 127 см. длиной (со стабилизатором) 325 см и массой около 4 500 кг.

Нейтронный инициатор представлял собой полоний-бериллиевую систему с радиусом 10 мм. Общее количество полония составляло 50 Ки.

Делящимся материалом бомбы являлась  $\delta$ -фаза плутония с удельным весом  $15,8 \text{ г/см}^3$ . Внешний диаметр плутониевого шара составлял 80...90 мм.

Плутониевое ядро находилось внутри полого шара из металлического урана с внешним диаметром 230 мм. Наружная граница урана была покрыта слоем бора.

Металлический уран размещался внутри алюминиевой оболочки, представлявшей собой полый шар с наружным диаметром 460 мм.

За слоем алюминия располагался слой взрывчатого вещества с фокусирующей линзовой системой из 32 блоков специальной формы. Общая масса взрывчатого вещества составляла около 2 т.

ПРИКАЗ  
ПО МИНИСТЕРСТВУ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

X 2032  
19.7.50г.

~~Сов. секретно  
(Особая папка)  
экз. № 2~~

Об организации физико-технического факультета при  
Томском политехническом институте им. С.М. Кирова

В соответствии с решением Совета министров СССР от 7 мая 1949 года № 1846–673сс – приказываю:

1. Директору Томского политехнического института тов. Воробьеву:  
1/ открыть с 1 сентября 1950 года физико-технический факультет в составе специальностей:

- а/ электрофизические установки,
- б/ химическая технология редких и радиоактивных элементов;
- в/ геология и разведка редких и радиоактивных элементов;
- г/ разработка месторождений редких и радиоактивных элементов.

2. Организовать на физико-техническом факультете кафедры, обеспечивающие подготовку студентов по указанным специальностям:

- а/ кафедра электрофизических установок,
- б/ кафедра автоматизации установок ядерной техники и технической электроники,
- в/ кафедра теоретической физики,
- г/ кафедра химической технологии редких и радиоактивных элементов,
- д/ кафедра геологии и разведки редких и радиоактивных элементов,
- е/ кафедра разработки месторождений редких и радиоактивных элементов.

3. Обеспечить прием студентов на первый курс физико-технического факультета в 1950 году по одной учебной группе на каждую специальность, всего на факультет в количестве 100 человек.

К 1 сентября 1950 года укомплектовать группы старших курсов специальности «Электрофизические установки» за счет перевода студентов с электрофизической специальности и с других специальностей института.

4. Распространить на студентов и аспирантов физико-технического факультета с 1 сентября 1950 года порядок выплаты стипендий, предусмотренных Постановлением Совета министров СССР № 303–104сс от 20 января 1949 года.



II. Начальнику отдела труда и зарплаты т. Пантелееву с 1 сентября 1950 года утвердить штаты деканата и кафедр физико-технического факультета.

III. Начальнику Управления капитального строительства т. Аверьянову обеспечить к 14 ноября 1950 года представление проектно-сметной документации по строительству 4-го учебно-лабораторного корпуса и жилого дома для научных работников Томского политехнического института и финансирование окончания их строительства в течение 1951 года.

IV. Начальнику Главного управления политехнических вузов т. Ирокошину и начальнику Управления капитального строительства т. Аверьянову обеспечить соответствующими ассигнованиями строительство учебного корпуса и оборудование лабораторий физико-технического факультета в 1951 году.

МИНИСТР ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

С. КАФТАНОВ

*Верно! В.И.И.И.*

отп. 2 экз  
МК № 493-оп  
ЗТ



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ОБОРОНЫ СССР  
ПОСТАНОВЛЕНИЕ N 9887

от 20 августа 1945 г.  
Москва, Кремль

Государственный Комитет Обороны постановляет:

... 4. Для непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии урана и производству атомных бомб организовать при СНК СССР Главное Управление - "Первое Главное Управление при СНК СССР", подчинив его Специальному Комитету при ГКО.

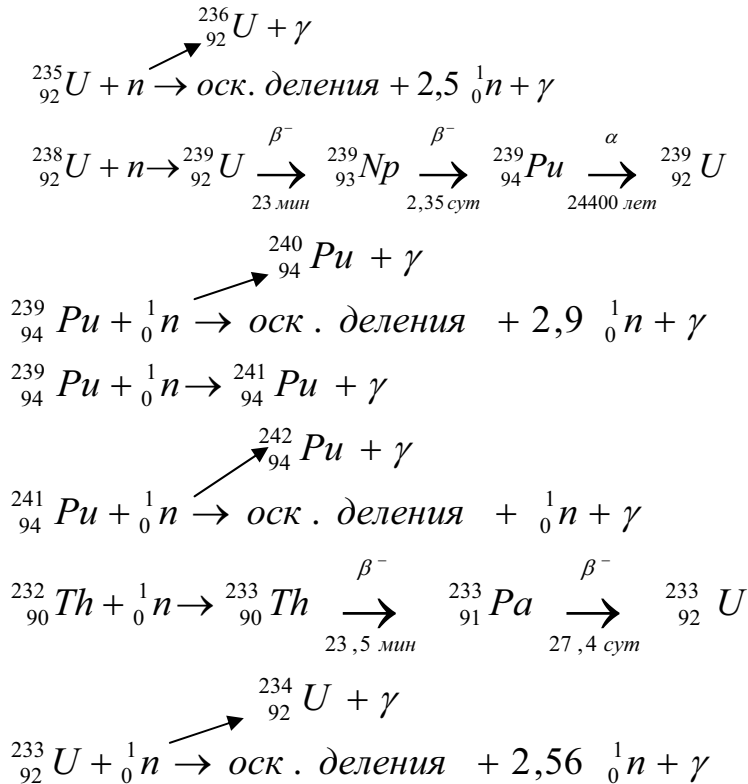
Председатель Государственного  
Комитета Обороны

*И. Сталин* И. Сталин

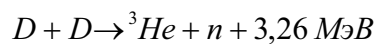
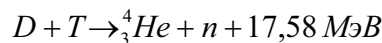
### 3. ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время в качестве источника энергии рассматриваются два вида ядерных реакций:

1. Цепная реакция деления ядер тяжелых изотопов. Природные элементы (изотопы урана и тория), искусственные трансурановые элементы (изотопы плутония, нептуния, америция, кюрия, берклия и калифорния, а также уран-233).



2. Реакция термоядерного синтеза ядер легких изотопов.



Поэтому национальные системы учета ядерных материалов включают:

- исходные ядерные материалы – природный уран и торий;
- специальные ядерные материалы – обогащенный уран, плутоний и уран-233;

- трансурановые элементы (Np, Am, Cm, Bk, Cf);
- тяжелая вода, дейтерий, тритий, литий.

### **Классификация ядерных материалов**

Один из факторов риска связан с нахождением на территории предприятия ЯТЦ радиоактивных материалов, из которых самыми опасными являются делящиеся вещества. Классификация их задана в инструкциях МАГАТЭ. Остановимся на них несколько подробнее.

**Необлученное («свежее») ядерное топливо** – слаборадиоактивное вещество, содержит оксиды урана ( $UO_2$ ) в виде порошка, таблеток, брикетов, гранул темно-серого или черного цвета, не горючее. Токсичный химический продукт, опасен при попадании на кожные покровы и внутрь через органы дыхания. Топливо размещают в металлических изделиях (сборках) серебристо-белого цвета рубчатой конструкции шестигранного, круглого, треугольного и квадратного сечения, а также в виде небольших цилиндрических блоков. Неповрежденные сборки не представляют непосредственной опасности для человека.

**Облученное ядерное топливо.** Извлеченное из реактора отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) – отдельные тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) или сборки, содержат оксиды урана ( $UO_2$  и др.), плутония ( $PuO_2$  и др.) и другие трансурановые нуклиды – продукты деления урана-235, образовавшиеся в результате облучения исходного топлива в реакторе. Оксиды – устойчивые соединения в виде таблеток темно-коричневого, черного цвета, нерастворимы в воде, температура плавления оксидов свыше 2 000 °С. ОЯТ имеет высокую альфа- и бета-активность, интенсивное проникающее нейтронное и гамма-излучение.

**Гексафторид урана ( $UF_6$ )** – кристаллическое, химически активное вещество бледно-желтого цвета, плотность 5 г/см<sup>3</sup> при 20 °С, температура плавления 64 °С при давлении паров 0,2 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup> = 1 атм). При плавлении образуется прозрачная бесцветная жидкость плотностью 3,7 г/см<sup>3</sup>. При температуре 0 °С практически не испаряется, при комнатной температуре давление пара составляет 1,4 кПа, при 95 °С – около 0,4 МПа. Пары ядовиты. На воздухе гексафторид урана гидролизуеться с образованием облака радиоактивных аэрозолей, которые тяжелее воздуха, состоящих из частиц уранилфторида и фтористого водорода (не горючие), хорошо растворим в воде с образованием уранилфторида и плавиковой кислоты. Активно взаимодействует с маслами, спиртами, эфирами и другими органическими соединениями с образованием зеленой соли, тетрафторида урана белого цвета, уранилфторида и инертных фторуглеродов.

**Оксиды урана** – при обычных условиях устойчивые соединения, нерастворимы в воде. Плотность порошка – до 2,5 г/см<sup>3</sup>, таблеток –

до  $11 \text{ г/см}^3$ . Температура плавления свыше  $2\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Диоксид урана ( $\text{UO}_2$ ) – порошок или таблетки черного или темно-коричневого цвета, закись-окись урана ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) – порошок от темно-коричневого до черного цвета с содержанием урана до 84 %, трехокись урана ( $\text{UO}_3$ ) – желтый порошок.

**Диоксид плутония** ( $\text{PuO}_2$ ) – мелкокристаллический порошок темного или темно-зеленого цвета. Температура плавления  $2\,240 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нерастворим в воде и минеральных кислотах. Диоксид плутония – ядерно-опасный делящийся материал. Минимальное значение критической массы для смеси диоксида плутония и воды – 500 г.

**Сплав уранилнитрата** ( $(\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ ) – стекловидная масса яркого зеленовато-желтого цвета плотностью  $2,8 \text{ г/см}^3$ . Плав хорошо растворим в воде, нелетуч, на воздухе не окисляется. В нормальных условиях медленно разлагается с выделением воды и оксидов азота, что приводит к появлению неприятного запаха вследствие образования азотной кислоты. Оксиды азота – вредные химические вещества. Сплав уранилнитрата при температуре около  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  переходит в жидкое состояние. При воздействии огня и высокой температуры сплав разлагается до оксидов урана с выделением оксидов азота и кислорода. Сплав уранилнитрата и продукты его разложения хорошо растворимы в органических соединениях, содержащих кислоту (спирты, кетоны, эфиры).

**Тетрафторид урана** ( $\text{UF}_4$ ) – твердое кристаллическое вещество зеленого цвета плотностью до  $2,5 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $960 \text{ }^\circ\text{C}$ , гигроскопичен, слабо растворим в воде – до концентрации 0,1 г/л. В сухом воздухе устойчив при температуре до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , при температуре выше  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  разлагается с образованием закиси-окиси урана и летучего оксифторида. Пары воды взаимодействуют с тетрафторидом урана с образованием диоксида урана и газообразного фтористого водорода (ядовитое химическое вещество).

**Уран металлический** (U) – плотный (до  $18,7 \text{ г/см}^3$ ) серебристый металл. Температура плавления  $1\,332 \text{ }^\circ\text{C}$ . При механическом ударе искрит, пирофорный. На воздухе компактноуложенный металлический уран медленно окисляется до закиси-окиси, а при температуре  $700 \dots 1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$  достигает полного окисления в течение часа. Продукты окисления представляют собой мелкодисперсные порошки. Уран хорошо растворяется в соляной и азотной кислотах, реагирует с водой и водяным паром. Свойства сплавов урана близки к свойствам металлического урана.

**Плутоний металлический** (Pu) – серебристого цвета, на воздухе окраска переходит в цвета побежалости, при длительном нахождении на воздухе – в тускло-черный, коричневый или зеленый цвет вследствие образования рыхлого оксидного покрытия. Плотность до  $19,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $670 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ядерно-опасный деля-

щийся материал. Продукты коррозии плутония – мелкодисперсные порошки, пиррофорные, окисляются на воздухе, при 300 °С могут самовоспламеняться. Плутоний металлический легко растворяется в кислотах, с щелочами не реагирует. Свойства сплавов плутония близки к свойствам металлического плутония.

**Смеси диоксидов урана и плутония.** Диоксиды урана ( $UO_2$ ) и плутония ( $PuO_2$ ) – таблетки (плотность до 11 г/см<sup>3</sup>) черного или темно-коричневого цвета. При обычных условиях устойчивые соединения. Твердые растворы смеси диоксидов растворяются в сильных кислотах, в воде нерастворимы. Температура плавления свыше 2 000 °С. При хранении в плутонии накапливается америций-241, характеризуется высокой  $\alpha$ -активностью и токсичностью.

### 3.1. Расщепляющиеся материалы

Нуклиды, ядра которых могут делиться под действием каких-либо частиц, называются делимыми. Наибольший интерес представляет деление тяжелых ядер нейтронами, поскольку в результате каждого акта деления появляются новые свободные нейтроны, способные вызвать последующие акты деления, т. е. возникает основа для получения самоподдерживающейся цепной реакции деления (ЦРД). Всякий раз, когда масса ядра превосходит массу осколков, на которые оно может разделиться, исходное ядро становится неустойчивым, т. к. процесс деления сопровождается потерей в массе и соответствующим освобождением громадной энергии.

Если энергия возбуждения составного ядра (энергия связи ядра, к которому присоединяется нейтрон, плюс его кинетическая энергия) больше критической энергии (энергетического барьера), то возможно деление.

Нейтроны с энергиями 100 МэВ и выше производят деление очень многих тяжелых ядер: висмута, свинца, таллия, золота и др.

Такие деления сопровождаются испусканием большого числа нейтронов, но все эти нейтроны обладают энергиями, которые значительно меньше 100 МэВ, что исключает возможность осуществления самоподдерживающейся реакции деления.

При делении на медленных нейтронах интерес представляют только ядра, обладающие нечетным массовым числом и четным атомным номером.

Для трех нуклидов – урана-235, урана-233 и плутония-239 – при захвате медленного (теплого) нейтрона энергия возбуждения составного ядра больше критической, следовательно возможно деление и цепная реакция.

Деление же ядер урана-238 и тория-232 производят только нейтроны с энергиями выше 1 МэВ, но осуществить цепную реакцию на этих нейтронах в указанных материалах невозможно, т. к. нейтроны деления рождаются с энергией 2 МэВ и быстро ее теряют, поэтому вызвать дальнейшее ее деление не могут.

Следовательно, в качестве бомбового материала уран-238 и торий-232 интереса не представляют.

Природный уран состоит из трех изотопов, но основных, имеющих практическую ценность, два. Первый имеет атомный вес 238 единиц (уран-238), его в природном уране (округленно) 99,9 %, или 993 кг в каждой тонне. Второй – уран-235 (тот самый – делящийся, оружейный), его в природном уране (тоже округленно) 0,7 %, или 7 кг в тонне. Третий – уран-234, но его мало (всего 0,006 %, или 60 г в тонне).

Делиться и давать цепную реакцию может только уран-235, но в природном уране его всего 0,7 %.

Этого количества хватит для осуществления нормального управляемого цепного процесса в гомогенном атомном реакторе на тяжелой воде и в гетерогенном реакторе с графитовым замедлителем.

Осуществить ядерный взрыв в природном уране невозможно.

Большинство энергетических реакторов работает на уране, обогащенном изотопом-235 до 2...5 %. Быстрые реакторы используют уран с обогащением 15...25 %. Исследовательские реакторы – 20...90 %. Уран для атомной бомбы содержит уран обогащением более 90 %. Процесс обогащения урана включает следующие физические процессы: электромагнитное разделение, газовая диффузия, центрифуги, разделительное сопло, лазерные методы.

Уран-238 участия в цепной реакции деления практически не принимает, но именно из него образуется новый элемент плутоний. Плутоний имеет 16 изотопов.

Наиболее важными изотопами являются Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241. Период полураспада Pu-239 24 400 лет. Плутоний – искусственно полученный элемент, хотя можно вспомнить и такой природный источник плутония, как естественный ядерный реактор в Окло (Африка), действовавший в естественных условиях 2 миллиарда лет назад на богатейшем урановом месторождении и нарабатывавший плутоний (около 4 т), в те далекие годы никому не нужный и позднее благополучно распавшийся. Реактор действовал 500 тыс. лет. Небольшое количество плутония образуется из урана при взаимодействии с нейтронами космического происхождения (в малых количествах уран рассеян везде), так что говорить об абсолютной чужеродности плутония для биосферы не вполне корректно. Важно подчеркнуть, что в настоящее время ученые

могут достаточно быстро и точно определить даже в ничтожных количествах присутствие радиоактивных элементов в воде, почве, растениях.

Дальнейшая биография плутония связана с историей создания ядерного оружия и ее мирным приложением – атомной энергетикой. В результате испытаний ядерного оружия значительное количество плутония (более 4 т) было рассеяно в окружающей среде.

С 1942 года в США плутоний производится в специальных атомных реакторах для использования в ядерном оружии. После окончания Второй мировой войны, СССР, а затем Великобритания и Франция, быстро осваивают плутониевый технологический цикл и количество некогда исчезнувшего с Земли металла стремительно нарастает. Наконец, со второй половины текущего столетия интенсивное развитие получила ядерная энергетика, в которой одним из компонентов топливного цикла является плутоний. Окончание холодной войны и последовавшие за этим шаги по демонтажу ядерных боеприпасов и передачи излишков плутония, находившегося в боеголовках, в гражданский сектор, а также перемены в ядерной промышленности, особенно задержки с вводом в эксплуатацию быстрых реакторов-размножителей, использующих в качестве топлива плутоний, явились причинами обострения плутониевой проблемы.

Плутоний обладает уникальным комплексом ядерных и физико-химических свойств.

Не менее интересными являются и теплофизические, механические и радиологические свойства этого элемента. Из-за существенной альфа-активности металлический плутоний саморазогревается.

Плутоний из энергетических реакторов обычно называют «гражданским» или «энергетическим», а наработанный в специальных (промышленных) реакторах – «оружейным». Эти материалы существенно различаются по изотопному составу.

Большое количество экспериментальных данных получено за прошедшие годы по поведению плутония в природе. Так, поступающий в окружающую среду Pu быстро переходит в форму оксида ( $PuO_2$ ), который мало растворим в почве и воде (растворимость в воде сравнима с морским песком), очень плохо переходит из почвы в растения, что практически радиационно безопасно для животных, пасущихся даже вблизи радиохимических заводов. Попавший в водоемы, он быстро осаждается и закрепляется в данных слоях.

Да, действительно плутоний является радиационно, химически и биологически токсичным элементом. Но все эти опасности сильно преувеличены «зелеными» движениями.

«Один фунт плутония (0,454 кг) может убить все человечество...»



«... Достаточно распылить всего два грамма оружейного плутония, чтобы у всей Западной Сибири были большие проблемы...»

Такие (и подобные) заявления растиражированы в печатных изданиях и на телеэкранах, формируют у людей неосознанный, интуитивный ужас перед всем «атомным».

Значение смертельной дозы плутония составляет около 20 мг при вдыхании его аэрозолей и примерно 500 мг при заглатывании. Радиотоксичность связана с облучением альфа-частицами тех тканей, где происходит его накопление (в печени и скелете). Период биологического выделения половины накопленного плутония из печени составляет 20 лет, а из скелета – 50 лет, что сопоставимо с длительностью человеческой жизни.

В недавно опубликованной в Германии работе был дан анализ гипотетической ситуации, когда плутоний использовался террористами при попытке отравить население такого крупного города, как Мюнхен. В случае растворения 300 г плутония в крупном водохранилище, снабжающем город питьевой водой, только 3 мг останется в воде, а основная его часть попадет в донные отложения. Если весь этот плутоний (3 мг) будет потреблен жителями, то можно дополнительно ожидать не более 1 % смертей от рака.

При вдыхании его химическая токсичность сопоставима с парами ртути или кадмия. Анализ биологического воздействия плутония показывает, что «традиционные» загрязнители биосферы (соли тяжелых металлов, формальдегиды, нитраты, пестициды и т. д.) гораздо более опасны практически по всем контролируемым показателям.

Прием внутрь 1 мкг представляет риск в 1 % развития рака (естественная вероятность возникновения рака – 20 %).

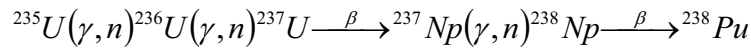
Международная комиссия по радиологической защите установила, что максимально допустимая концентрация Pu-239 составляет 0,23 мкг для легочной ткани.

В настоящее время принята следующая квалификация плутония по качеству.

Таблица 3.1

Плутоний	Содержание учитываемого изотопа, %
Сверхчистый	$^{240}\text{Pu} \leq 2 - 3$
Оружейный	$2 - 3 < ^{240}\text{Pu} < 7$
Топливный	$7 \leq ^{240}\text{Pu} \leq 19$
Реакторный	$^{240}\text{Pu} > 19$
Промышленный	$20 \leq ^{238}\text{Pu} \leq 80$
Медицинский	$^{238}\text{Pu} > 80$

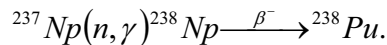
## Плутоний-238



Промышленный и медицинский плутоний даже при больших выгораниях в энергетических реакторах получить невозможно (содержание  $^{238}\text{Pu}$  не более 4,4 %).

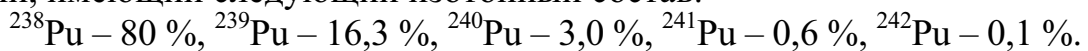
Существуют две другие цепочки.

В первом случае выделенный и очищенный изотоп  $^{237}\text{Np}$  подвергают облучению потоком тепловых нейтронов в ядерных реакторах и  $^{238}\text{Pu}$  нарабатывается по реакции



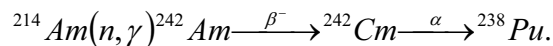
При облучении  $^{237}\text{Np}$  в водо-водяном реакторе потоком нейтронов с плотностью  $10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{г}^{-1}$  в спектре, характерном для ВВЭР, максимальная концентрация  $^{238}\text{Pu}$  достигается за 0,9 года и составляет 300 г на 1 кг исходного продукта. При этом доля изотопа  $^{238}\text{Pu}$  среди всех образовавшихся изотопов плутония составляет 69 %.

При облучении  $^{237}\text{Np}$  в уран-графитовом реакторе получается плутоний, имеющий следующий изотопный состав.

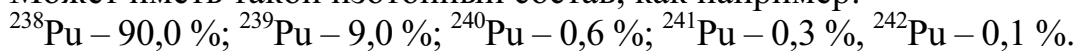


Или  $^{238}\text{Pu} - 80 \%, \quad ^{239}\text{Pu} - 15,8 \%, \quad ^{240}\text{Pu} - 2,7 \%, \quad ^{241}\text{Pu} - 1,1 \%, \quad ^{242}\text{Pu} - 0,4 \%$ , который классифицируется как «промышленный».

Во втором случае плутоний с более высоким содержанием изотопа  $^{238}\text{Pu}$  (до 90 % и выше) может быть получен при облучении в реакторе  $^{241}\text{Am}$  по реакции



Может иметь такой изотопный состав, как например:



Плутоний с содержанием изотопа  $^{238}\text{Pu}$  более 80 % классифицируется в международной практике как «медицинский».

Изотоп  $^{238}\text{Pu}$  является  $\alpha$ -излучателем с периодом полураспада  $T_{1/2} = 87,74$  лет. При этом удельный поток испускаемых им  $\alpha$ -частиц с энергией около 5,5 МэВ в полный телесный угол  $4\pi$  составляет  $6,33 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$  [13]. Энергия  $\alpha$ -частиц, будучи поглощена веществом, превращается в тепло и, благодаря столь значительному потоку  $\alpha$ -частиц, 1 г  $^{238}\text{Pu}$  выделяет около 0,5 Вт тепловой энергии. Отдельные образцы с высоким содержанием изотопа  $^{238}\text{Pu}$  могут развивать температуру до 1 000 °С. Это обстоятельство позволяет использовать  $^{238}\text{Pu}$  для производства радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ), которые являются уникальными автономными источниками электропитания и могут обеспечивать диапазон электрических мощностей от нескольких микроватт до 10 кВт и более в течение многих лет.

Так, например, во время космической экспедиции «Аполлон-12» источником энергообеспечения бортовой аппаратуры при проведении комплекса экспериментов на лунной поверхности (ALSEP) служил РИТЭГ SNAP-27, содержащий 3 735 г микросферического  $^{238}\text{PuO}_2$  и развивающий тепловую мощность 1 480 Вт.

Стоимость Pu-238 (80 %) составляет 1 400 долл/г.

### 3.2. Критические массы

Уран с обогащением 20 %, сферической конфигурации, имеет критичность при массе около 800 кг, которая, по мнению оружейных специалистов, слишком велика для применения в качестве ядерного оружия.

Критическая масса – наименьшая масса, в которой протекает самоподдерживающаяся цепная реакция деления атомных ядер.

При определенной совокупности массы, плотности и конструктивного оформления расщепляющегося материала, при превышении некоторых нейтронно-физических параметров цепная реакция на вторичных нейтронах деления приобретает лавинообразный, взрывной характер. Такое состояние называется надкритическим, следствием его намеренного достижения в ЯВУ в необходимый момент и является ядерный взрыв.

Критическая масса может быть достигнута либо увеличением массы расщепляющегося материала при неизменной плотности, либо увеличением плотности при неизменной массе. Первый вариант реализуется в зарядах пушечного ствольного типа. В них одна подкритическая масса направляется в другую такую же подобно снаряду (отсюда и название), после чего состояние образовавшейся системы становится надкритическим. Так была устроена, например, бомба, сброшенная на Хиросиму.

Второй вариант лежит в основе действия имплозионных зарядов. В них надкритичность достигается при взрыве заряда из химического вещества, особым образом размещенного вокруг подкритической сферы из расщепляющегося материала. Под действием ударной волны этого взрыва, направленной к центру системы (имплозия означает «взрыв внутрь»), расщепляющийся материал равномерно и очень быстро обжимается, что вызывает скачкообразное повышение его плотности и переход в надкритическое состояние с последующим ядерным взрывом. Имплозионный принцип был использован, например, в бомбе, сброшенной на Нагасаки, а также в первом советском ЯВУ, испытанном в 1949 г.

Существен тот факт, что для использования в пушечной схеме плутоний-239 оружейной кондиции не пригоден. Существенно меньшая, в сравнении с имплозионной, скорость формирования критической массы, свойственная этой схеме, приводит к тому, что из-за наличия в нем заметного количества плутония-240, испускающего нейтроны вследствие спон-

танного деления, цепная реакция начинается чересчур рано. Поэтому силы гидродинамического разлета разрушают заряд еще до распространения цепной реакции по всему объему расщепляющегося материала, и вместо полноценного взрыва получается маломощный «хлопок».

С другой стороны, уран-235 почти не применяется в современном ядерном оружии – уж слишком очевидны преимущества плутониевых ЯВУ перед урановыми. Да и имплозионная схема сама по себе (кстати, она всеядна и допускает применение как урана, так и плутония), в сравнении с пушечной, намного более совершенна. К числу главных ее достоинств относится возможность существенно уменьшить количество расщепляющегося материала – ведь величина критической массы обратно пропорциональна квадрату его плотности. Например, для урана-235 обогащением 93,5 % критическая масса (без отражателя) равна 30 кг при нормальной (естественной) плотности, 7,5 кг – при удвоенной и 3,3 кг – при утроенной.

Здесь, между прочим, возникает любопытный вопрос, также являющийся сейчас предметом многочисленных спекуляций, и часто именно в контексте ядерного терроризма: а если сжимать дальше? Не открывается ли здесь возможность, хотя бы принципиальная, собрать ЯВУ на основе лишь нескольких граммов плутония? Их-то террористу несравненно проще раздобыть, чем 6...8 кг плутония-239 для снаряжения «нормального» имплозионного ЯВУ. А ведь расчетное взрывное энерговыделение при полном делении всего 1 г плутония-239 эквивалентно (по порядку величины) 10 т тротила!

Элементарные расчеты показывают, что добиться таких степеней сжатия с помощью химических взрывчатых веществ невозможно из энергетических соображений.

В принципе, огромные степени и скорости сжатия достаточно малых масс вещества можно обеспечить излучением мощного лазера, причем чем меньше масса, тем выше достигаемая степень сжатия. Однако в том, что само по себе достижение надкритического состояния есть лишь создание условий для лавинообразного роста числа нейтронов, волной накрывающих все новые и новые ядра делящегося материала, но таких ядер очень мало.

А при малой массе расщепляющегося материала и очень высокой скорости его сжатия поколения нейтронов не набираются вовсе, хотя надкритичность достигается.

По оценке академика РАН Л.П. Феокистова, для осуществления таким образом взрывной цепной реакции потребуется не менее 10 г плутония при мощности лазеров обжатия в десятки мегаджоулей. Таких лазеров в мире еще нет. А если бы были? Террорист, вероятно, лишился бы дара речи от одной лишь мысли, что ему вместе с малогабаритным

ЯВУ придется захватить «на дело», как минимум, грузовик с лазерной аппаратурой плюс передвижную электростанцию приличной мощности.

Аналогом плутония-239 является уран-233, так же реакторного происхождения.

В этой технологии есть свои трудности: повышенная гамма активность, из-за чего сколько-нибудь заметного применения в военной технике уран-233 не получил.

Известно, что для металлической сферы без отражателя критическая масса урана-233 составляет ~17 кг, критическая масса плутония-239 ~13 кг, критическая масса урана-235 ~50 кг.

Отражатель снижает критическую массу в 2 раза. МАГАТЭ ввело единицу количества ЯМ – «значимое количество» (SQ), которое составляет для Pu – 8 кг, U-235 – 25 кг.

Первая советская атомная бомба (делящийся материал плутоний) весила около 5 т (мощность около 15 кт). В массивном корпусе содержалось всего 6 кг активного материала.

В энергетическом плутонии накапливаются длинные «хвосты» трансурановых элементов, вплоть до Pu-244. При этом четные изотопы малопродуктивны, нечетные определяют большой тепловой эффект.

У Pu-239 период полураспада при спонтанном делении равен  $5,5 \cdot 10^{15}$  лет и выход нейтронов составляет  $3,2 \cdot 10^{-2}$  н/гс.

Для Pu-240 период спонтанного деления равен  $1,27 \cdot 10^{11}$  лет и выход нейтронов  $1 \cdot 10^3$  н/гс.

Поэтому даже наличие 1 % Pu-240 создает нейтронный фон больший, чем от всего изделия из Pu-239.

Если из низкообогащенного урана (5 %) создать ЯВУ принципиально невозможно, то из реакторного плутония, в принципе, возможно.

Такие устройства были взорваны в США (1962) и Индии (1974).

В справочнике «Критические параметры делящихся материалов и ядерная безопасность» (М.: Энергоатомиздат, 1984) приведены результаты критических экспериментов.

Для плутония с содержанием Pu-240 5,9 %, плотностью  $17,3 \text{ г/см}^3$  радиус критической сферы без отражателя составляет 5,59 см, а для плутония с содержанием Pu-240 20 %, плотностью  $15,7 \text{ г/см}^3$   $R_{\text{сф}} = 66,6$  см.

Оценочные расчеты объема шара с учетом плотности материала показали, что критическая масса оружейного плутония ~12 кг, а энергетического ~20 т. Кроме того, физические и технические трудности по выделению, очистке, металлургии, конструктивному оформлению плутония, а также значительное содержание балластных материалов, интенсивный нейтронный фон, высокая собственная радиоактивность и тепловыделение. Такие элементы, как Li, Be, B, F, O<sub>2</sub>, Al, Si, присут-

ствовали при введении технологических процессов, а их примеси в плутонии ухудшали его качество. Содержание примесей этих легких металлов увеличивает нейтронный фон в 4 раза.

Рассмотрим кратко трансурановые элементы в качестве материала для бомбы.

Чем выше сечение деления и чем больше количество вторичных нейтронов на акт деления, тем более эффективен рассматриваемый материал как ядерное горючее. Наиболее перспективными считаются кюрий-245, калифорний-249 и калифорний-251, у которых период полураспада, соответственно, равен 8 530, 350 и 900 лет. Другие трансурановые элементы делятся плохо, либо распадаются быстро. Кроме того, необходимо отметить сильное тепловыделение и большой выход нейтронов спонтанного деления.

Возникают следующие проблемы:

1. Накопить необходимое количество Cf-249 и Cf-251 для изготовления хотя бы одной ядерной пули очень трудно. На одну тонну плутония в облученном ядерном топливе реактора накапливается лишь несколько граммов Cf-249, а Cf-251 еще меньше.
2. Значительное тепловыделение приводит к усложнению и громоздкости заряда.

Главный недостаток Cm – низкая плотность  $13 \text{ г/см}^3$ . Хорошо известно, что критическая масса обратно пропорциональна квадрату плотности, при этом Cm немного дороже Pu, более высокая радиоактивность, проблемы тепловыделения, балластные материалы Cm-242 и Cm-244 (роль Pu-240), но и большой нейтронный фон.

Конструктор советского ядерного оружия академик Л.П. Феокистов прокомментировал возможности создания «ядерной пули» на базе трансурановых элементов: «...хорошо поданная информация на деле оказалась умело сфабрикованной фальшивкой».

### **3.3. Облученное ядерное топливо**

Тема ОЯТ, как одна из горячих и злободневных сегодня, безусловно, требует профессионального обсуждения, а не голословного осуждения. Дискуссия должна включать анализ имеющихся научных данных с учетом экономических реалий.

Спор о том, что «ОЯТ – это не радиоактивные отходы», разрешила наука радиохимия.

В отличие от политологии и других гуманитарных наук она не оставляет места для недосказанности и двойственных толкований.

ОЯТ – это ядерное топливо, отработавшее цикл в реакторе АЭС. После выгрузки оно помещается в специальный бассейн выдержки,

имеющийся на каждой станции. Через год количество выделяемого тепла снижается примерно в 200 раз, а радиоактивность – в 10 раз, через 5 лет радиоактивность уменьшается в 35 раз. Через 30 лет – в 100 раз. Ядерное топливо после облучения в современных реакторах сохраняет все защитные барьеры безопасности. После 3...5-летней выдержки ОЯТ можно перевозить в централизованное хранилище или направлять на переработку.

Захоронение пока не производится ни в одной стране мира. С одной стороны, обоснование безопасности захоронения на десятки тысяч лет требует проведения масштабных исследовательских работ. Это детальные исследования геологической среды выбранного полигона для захоронения, надежности физических барьеров и т. д. С другой стороны, не все убеждены в целесообразности захоронения ОЯТ, предполагая, что через определенное время ОЯТ может быть выгодно переработано. По этой причине создаются долговременные хранилища, где ОЯТ будет находиться в течение нескольких десятков лет до принятия решения об его окончательном захоронении или переработке.

**В 2001 году приняты три Федеральных закона:**

**1. «О внесении дополнений в статью 50 Закона РСФСР "Об охране окружающей природной среды"».** Этот закон является ключевым законопроектом, его принятие позволит с учетом ряда принципиальных условий по обеспечению радиационной и экологической безопасности ввозить в Россию облученное ядерное топливо (ОЯТ) для его хранения и (или) последующей переработки.

**2. «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон "Об использовании атомной энергии"».** Этот закон дает возможность осуществления лизинга свежего ядерного топлива, что, в свою очередь, позволит существенно расширить присутствие российских производителей ядерного топлива на зарубежном рынке и, кроме того, добавляет «временное хранение» в перечень возможных услуг по обращению с ОЯТ.

**3. «О специальных экологических программах реабилитации радиационно-загрязненных регионов Российской Федерации».** Этот закон определяет механизм финансирования специальных экологических программ за счет средств, полученных в результате расширения участия российских предприятий на мировом рынке обращения с ОЯТ.

В настоящее время только 4 страны (Великобритания, Франция, Япония, Россия) уже имеют мощности для перерабатывания ОЯТ. К ним, безусловно, присоединится еще ряд стран. Из реакторов АЭС всего мира ежегодно выгружается около 12 тыс. т ОЯТ, в том числе около 800 т в России.

Емкость рынка уже сегодня превышает 200 млрд долл. Россия претендует лишь на 10 % рынка.

Состав облученного ядерного топлива: двуокись урана-238 – 95 %, двуокись урана-235 – 1,5 %, плутоний – 2,5 %, РАО и другие элементы – 1 %. Таким образом, около 99 % ОЯТ – это ценнейшее энергетическое и технологическое сырье.

Изготовленное из 20 000 т ОЯТ новое МОКС-топливо при использовании на традиционных АЭС с реакторными установками ВВЭР или PWR и BWR позволит заменить 410...470 млн т нефти, или 630...730 млрд м<sup>3</sup> газа, или 820...940 млн т угля. Что такое 450 млн т российской нефти. Это 80 млрд долл. США.

Современные прогнозные оценки Министерства топлива и энергетики РФ на 2020 год таковы: к 2020 году необходимо добывать не менее 360 млн т нефти, 430 млн т угля, 700 млрд м<sup>3</sup> газа и вырабатывать 1 620 млрд кВт·ч электроэнергии.

Таким образом, 20 000 т ОЯТ по энергетической ценности сравнимо с годовым производством органического топлива в России, даже при использовании традиционных ядерных технологий на уже действующих АЭС.



## 4. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО

Человечество живет в едином, взаимосвязанном мире, и наиболее серьезные энергетические, экологические и социально-экономические проблемы приобрели глобальный масштаб.

Развитие энергетики связано с развитием человеческого общества, научно-техническим прогрессом, который, с одной стороны, ведет к значительному подъему уровня жизни людей, но с другой – оказывает воздействие на окружающую человека природную среду. К числу важнейших глобальных проблем относятся:

- рост численности населения Земли и обеспечение его продовольствием;
- обеспечение растущих потребностей мирового хозяйства в энергии и природных ресурсах;
- охрана природной среды, в том числе и здоровья человека от разрушительного антропогенного воздействия технического прогресса.

Сегодня в индустриальных странах сосредоточено 16 % населения и 55 % энергопотребления в мире. В развивающихся странах – 84 % населения и 45 % энергопотребления.

Мировые запасы нефти: Саудовская Аравия – 26 %, Ирак – 11 %, Иран – 9 %, Кувейт – 9 %, Россия – 5 %, США – 2 %.

Природный газ: Персидский залив – 33 %, Россия – 33 %.

Уголь: США – 25 %, Россия – 16 %, Китай – 12 %.

Человечество уже в 20 раз превысило предел возможности своей энергетики, допустимой для сохранения устойчивости биологических систем и уже вышло на порог саморазрушения биосферы. Демографическая емкость Земли составляет 0,5...1,5 млрд человек. Сейчас уже более 6 млрд человек.

Разумеется, потребности современного общества должны удовлетворяться с учетом потребности будущих поколений. Потребление энергии является одним из важных факторов развития экономики и уровня жизни людей. За последние 140 лет потребление энергии во всем мире возросло примерно в 20 раз, а численность населения планеты – в 4 раза.

С учетом темпов нынешнего роста численности населения и необходимости улучшения уровня жизни будущих поколений Мировой энергетический конгресс прогнозирует рост глобального потребления энергии на 50...100 % к 2020 году и на 140...320 % к 2050 году.

Таблица 4.1

## Некоторые проблемы, связанные с использованием различных энергоносителей

Энергоноситель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Возобновляемые источники	Водородная энергетика
Есть ли проблемы поставки топлива?	Нет. Разведанные ресурсы огромны	Да и нет. Известных ресурсов хватит на десятилетия (при нынешних ценах)	Нет. Уровень разведанных ресурсов возрастает, превышая сейчас мировое потребление в 70 раз	Нет. Имеются достаточные ресурсы урана и возможности переработки отработанного топлива	Да и нет. Ресурсы велики, но исчерпаемы, есть трудности отвода территорий	Да и нет. Существуют различные возможности производства водорода как энергоносителя
Существуют ли проблемы стоимости?	Нет. Самый дешевый энергоноситель, цена на который понижается	Да. Сильные колебания стоимости существенно влияют на экономику	Да. Хотя существуют большие ресурсы, они часто располагаются далеко от регионов потребления	Да. Экономическая эффективность АЭС может быть повышена только путем уменьшения затрат на строительство	Да. Стоимость падают (особенно в случае ветроэнергетики), но необходимо субсидирование	Да. Глобальная проблема – большие затраты
Есть ли негативные экологические последствия?	Да. Существуют серьезные экологические последствия	Да. Разливы нефти, выбросы парниковых газов	В некоторой степени. То же, что и в случаях угля и нефти, но в меньшей степени	Да и нет. Нет проблем выбросов, но есть трудности хранения отходов	Нет. Возможны лишь ограниченные экологические последствия	Да и нет. Некоторые негативные экологические последствия связаны с производством водорода

Окончание табл. 4.1

Энерго-носитель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Возобновляемые источники	Водородная энергетика
Существуют ли зависимость от не-надежной поставки?	Нет. Наиболее значительные потребители обладают огромными ресурсами	Да. Возможна нестабильность поставок с ближнего Востока и из России	В некоторой степени. То же, что и в случае нефти	Нет. При замкнутом ядерном топливном цикле	Нет. Служат заменой невозобновляемых ресурсов	Может быть. Зависимость от производства водорода из природного газа
Имеются ли серьезные технические трудности?	Да. Все еще недостаточно разработаны технологии снижения выбросов вредных газов, а также захвата и усвоения CO <sub>2</sub>	Да и нет. Необходимы разработки возможных новых источников нефти, а также усовершенствованных двигателей	Нет. Может продолжаться использование современных технологий	Нет. Может продолжаться использование современных технологий	Да. Очень важно дальнейшее совершенствование фотовольтаических элементов и других устройств	Да. Многие технические проблемы водородной энергетики остаются нерешенными

По данным Мирового энергетического конгресса, в первые 20 лет XXI века рост энергопотребностей будет выше, чем за весь XX век при увеличении населения до 8 млрд человек.

Такие экологические угрозы, как парниковый эффект и необратимые изменения климата, истощение озонового слоя, кислотные дожди (осадки), сокращение биологического разнообразия, увеличение содержания токсичных веществ в окружающей среде, требуют новой стратегии развития человечества, предусматривающей согласованное функционирование экономики и экосистемы.

Что же такое энергия вообще? Согласно современным научным представлениям, энергия – это общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи, которая не возникает из ничего и не исчезает, а только может переходить из одной формы в другую в соответствии с законом сохранения энергии.

Энергия может проявляться в различных формах: кинетическая, потенциальная, химическая, электрическая, тепловая, ядерная.

Для удовлетворения нашей потребности в энергии существуют возобновляемые и невозобновляемые источники.

Возобновляемые ресурсы – это природные ресурсы, запасы которых или восстанавливаются быстрее, чем используются, или не зависят от того, используются они или нет.

Возобновляемые источники энергии – это, например, энергия биомассы, ветра, солнца, морских волн и течений, тепло земли и гидроэнергия.

Уголь, нефть, газ, торф, уран относятся к невозобновляемым источникам энергии и при переработке они теряются безвозвратно.

#### **4.1. Энергетика на органическом топливе и перспективы ее развития**

**Нефть.** По прогнозам Международного энергетического агентства потребности в первичных энергоносителях в первом десятилетии XXI века будут удовлетворены в следующих соотношениях: нефть – не более 40 %, газ – менее 24 %, твердые виды топлива (в основном уголь) – менее 30 %, ядерная энергия – 7 %, гидроэнергетика – 7 %, возобновляемые виды энергии – менее 1 %. Региональное потребление первичных энергоносителей может иметь отклонения от мировых тенденций [3, 25, 29].

Основное количество энергии человечество получает и будет получать в ближайшем будущем, расходуя невозобновляемые источники.

В табл. 4.9 рассматриваются различные виды энергии (уголь, нефть, природный газ, солнечная энергия, гидроэнергия, энергия ветра) в сравнительной статистике.

Несмотря на огромное разнообразие видов топлива, основными источниками энергии остаются нефть, природный газ и уголь. Первые два ископаемых топлива исчерпаемы в ближайшем будущем. Нефтяные топлива обладают особой ценностью для транспортных средств (основных потребителей энергии), в силу удобства перевозки, поэтому в настоящий момент ведутся исследования по использованию угля для выработки жидких топлив, в том числе и моторных.

Огромная сухопутная протяженность нашей страны, особенно в долготном направлении (11 часовых поясов), обрекает экономику России на дорогой железнодорожный грузооборот большей (около 80 %) части валового продукта – продукта, получаемого, к тому же, с повышенными затратами из-за более суровых климатических условий.

Только по этим причинам жить в России, несомненно, труднее. Для того, чтобы обеспечить такой же, как, например, в Западной Европе или, тем более, в США уровень жизни, удельные средние затраты энергии, при прочих равных условиях (производительность труда, технологии и т. д.), должны быть в 2–3 раза выше. Причем при обязательном условии, что используемые энергоносители будут, как минимум, не дороже, что невозможно при использовании традиционных энергоресурсов.

Непонимание этого рождает иллюзии и мифы. Какими бы гигантскими запасами нефти и газа в северных районах ни располагала Россия, эти социально-экономические условия и цели не будут выполнены никогда при использовании органического топлива. К тому же за последний год появился новый фактор международного права, препятствующий его использованию, – экологический.

Необоснованной является надежда на возможность использования несметных сибирских природных богатств, оцениваемых десятками, а то и сотнями триллионов долларов. Освоение их потребует сопоставимых по масштабу затрат.

Богатство страны и ее народа обеспечивается не наличием природных ресурсов, а их экономической доступностью и рентабельностью использования.

Нынешняя структура электроэнергетики, в которой производство 2/3 ее продукции базируется на нестабильных факторах, бесконечных поисках новых месторождений неизбежно дорогих энергоресурсов, заботах, связанных с их истощением, мировой и национальной политической конъюнктуре, связанной с традиционными энергоносителями, создает нестабильность в энергоснабжении страны.

Мировая добыча нефти в настоящее время составляет около 5,2 млрд т/30 млрд бр в год. Таким образом, при нынешних темпах по-

требления разведанной нефти хватит примерно на 40 лет, неразведанной – ещё на 10...50 лет. Также растёт и потребление нефти – за последние 35 лет оно выросло с 20 до 30 млрд баррелей в год.

Из-за разгерметизации трубопроводов ежегодно вытекает 10...15 млн т нефти плюс потеря газа. Утечки нефти вызывают локальное экологическое опустошение с многолетними последствиями.

Из нефти получают ценные продукты, главным образом моторные топлива, растворители. Нефть является источником ценного сырья для производства синтетических каучуков и волокон, пластмасс, ПАВ, моющих средств, пластификаторов, присадок, красителей и др., поэтому использовать ее в качестве топлива, учитывая оставшееся количество, нецелесообразно.

Цены на нефть, как и на любой другой товар, определяются соотношением спроса и предложения. В 2007 году цены на нефть достигли пика 80 долл. за баррель.

**Природный газ.** Основные инвестиционные вложения в топливную добывающую газовую промышленность приходятся на газопроводы. Почти все промысловые и межпромысловые, а также значительная часть магистральных газопроводов располагаются в отдаленных районах Севера, где прокладка сопряжена с значительными дополнительными затратами. Выделяя долю затрат на газопроводы, соответствующую доле сжигаемого в ТЭС газа в общем объеме добываемого «голубого» топлива, и относя эти затраты к электрической мощности тепловых электростанций, можно получить сравнительную оценку инвестиционных затрат на топливообеспечение электроэнергетики на газе. Кроме этого следует отметить, что срок службы основных фондов, особенно трубопроводного, в газодобывающей промышленности в несколько раз меньше, чем в ядерно-энергетической.

Несмотря на увеличение объема добычи газа, удельные инвестиции в его добычу растут примерно на 30 % за 5 лет. Это означает, что каждые 5 лет как минимум на 30 % будет увеличиваться топливная составляющая стоимости электроэнергии. Иными словами, примерно к середине XXI века топливная составляющая электроэнергии на газовых электростанциях увеличится больше чем на порядок. Соответственно возрастут и цены на электроэнергию. Экспорт газа в Европу будет непрерывно сокращаться из-за высоких цен российского газа.

За последние полвека длина трубопроводного транспорта России увеличилась с нескольких тысяч километров до 1 млн. По экологическому ущербу он занял лидирующее положение. Утечки газа из газопроводов вызывают глобальное отравление атмосферы парниковым газом метаном. Норма его утечки установлена в 2 %, а фактически

утечка составляет 6 %. Возгорание природного газа приводит к мощной эмиссии другого парникового газа – CO<sub>2</sub>.

В Сибири, где концентрация трубопроводов достаточно велика, ежегодно происходят тысячи аварий трубопроводов. Это значит, что при современном уровне добычи газа порядка 600 млрд м<sup>3</sup> эмиссия метана в атмосферу составляет ежегодно 30 млн м<sup>3</sup>. Финансовые потери от утечек нефти и газа оцениваются в 200...270 млн долл. ежегодно.

Большой ущерб наносят утечки нефти и газа из трубопроводов, проложенных через водоемы – озера, речки, болота. Они убивают все живое.

Нынешнее состояние трубопроводного хозяйства таково, что затраты на ликвидацию последствий от аварий громадного нефтегазового трубопроводного хозяйства увеличиваются с каждым годом. По существу, все три сферы окружающей природной среды испытывают мощное техногенное воздействие. Происходит множество аварий. Все более очевидной становится опасность разветвленной доставки газа как для бытового, так и для индустриального потребления.

Изучение показывает, что экономическим оправданием беспрецедентно большого масштаба добычи газа в России может служить только экспорт с его высокими мировыми ценами, окупающими внутренние затраты на добычу и транспорт газа. Здесь-то и кроется большая слабость экономики российского газа. Практически любое его применение, даже в традиционных секторах российской экономики, может быть осуществлено только на дотационной основе, что и происходит на деле.

Экономически целесообразно использовать газ в газохимическом производстве России, обеспечивающем внутренний и внешний рынок полимерами. Сегодня уже многие нефте- и газохимические производства стран, не имеющих собственного сырья, становятся неконкурентоспособными из-за высоких темпов роста цен на углеводороды.

В долгосрочной перспективе природный газ станет основой для производства синтетического жидкого топлива для транспортных средств.

**Уголь.** Атмосферные выбросы от угольных станций стали причиной так называемых кислотных дождей, которые губят растительность, почву, водоёмы и, прежде всего, здоровье людей. Чтобы оценить объёмы выпадающих кислотных дождей, достаточно представить себе, что одна ТЭС мощностью 1 000 МВт, работающая на угле с содержанием серы около 3,5 %, несмотря на применение средств очистки, выбрасывает в атмосферу 140 тыс. т сернистого ангидрида в год, из которого образуется около 280 тыс. т серной кислоты. Двуокись азота способна вызвать отек легких. Сернистый ангидрид поражает верхние дыхательные пути. Канцерогенное действие тяжёлых металлов, выбрасываемых вместе с золой, в комментариях не нуждается. Итак, в результате сжигания угля

возникает целый букет канцерогенных и мутагенных веществ. Ежегодный объём золошлаковых отходов ТЭС СНГ в настоящее время превышает 120 млн т. С поверхностей золоотвалов ветер поднимает золу, образуя пыльные бури. Использовать золу в качестве строительного материала не рекомендуется из-за повышенного радиационного фона.

Мало кто знает, что в процессе сжигания угля происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды. При сжигании угля радионуклиды (уран, торий, радий, полоний-210, свинец-210 и т. д.) концентрируются в золе. Поэтому ТЭС являются более серьёзным источником внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на прилегающих территориях, чем нормально функционирующие АЭС.

ТЭЦ на угле ( $N_{эл} = 1000$  МВт) в течение года выделяет больше радиоактивности, чем АЭС, а в золе содержится столько урана-235, что достаточно для производства двух ядерных бомб при его выделении.

Мировой выброс урана и тория от сгорания угля составляет около 40 000 т ежегодно.

ТЭЦ на угле России выбрасывают радионуклиды, превышающие 1 000 т в год по урану. Для сравнения: предприятиями Росатома России в 2001 г. в водные объекты выброшено 6,9 т урана, в атмосферу – 2,9 т.

Выбросы урана с угольной золой от ТЭЦ-4 г. Новосибирска превышают выбросы урана от завода химических концентратов (изготовление тепловыделяющих элементов для реактора) в 7,5 раза.

Экспериментально установлено, что индивидуальные дозы облучения в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт (эл.) превышают аналогичную дозу вблизи АЭС в 5...10 раз.

Стоимость перевозки угля на угольные ТЭЦ в европейской части России выше, чем стоимость самого угля. Для парогазовых станций затраты на топливо 60...75 % от общей стоимости выработки электроэнергии, на АЭС – до 15 %.

*Сжигание кислорода в атмосфере Земли.* На сжигание 1 кг угля уходит 2 кг атмосферного кислорода, тогда как АЭС производит энергию, «не потребляя» кислород.

Специального внимания заслуживает вопрос о выбросах углекислого газа. При дыхании людей в атмосферу было выделено в 2000 году до 0,9...3,5 млрд т/год. За счёт сгорания угля – до 21 млрд т/год. Т. к. углекислый газ поглощает инфракрасное излучение, происходит аккумуляция части тепла, которое в противном случае рассеялось бы в космосе, что приводит к повышению температуры.

По мнению 49 ученых – лауреатов Нобелевской премии, последствия усиления парникового эффекта на планете могут быть сравнимы лишь с последствиями глобальной ядерной войны.



Средняя температура на планете к 2010 г. может повыситься на 1,3 °С, что приведет к повышению уровня Мирового океана, перераспределению осадков и изменению климатических систем.

#### **4.2. Возобновляемые источники энергии и их ресурсы**

**Биомасса.** В 2003 году 4 % всей энергии в США производилось из биомассы.

В 2004 году во всём мире производили электричество из биомассы электростанции общей мощностью 35 000 МВт.

Из биомассы производят этанол, который затем применяется в качестве автомобильного топлива. В качестве сырья используется: кукуруза, пшеница, сахарная свёкла, сахарный тростник, сладкое сорго, маис и т. д. Крупнейшие в мире производители топливного этанола – США и Бразилия.

Методом пиролиза из биомассы получают биотопливо, метан, водород. Например, германская компания производит SunDiesel – топливо для дизельных автомобилей. Возможно использование различного сырья: отходы древесины, солома, кукурузная шелуха и т. д. Из пшеничной соломы получается до 58 % биотоплива, 18 % угля и 24 % газов.

Из навоза животных методом метанового брожения получают биогаз. Биогаз на 55...75 % состоит из метана и на 25...45 % из CO<sub>2</sub>. Из тонны навоза крупного рогатого скота (в сухой массе) получается 250...350 м<sup>3</sup> биогаза. Мировой лидер по количеству действующих установок по производству биогаза – Китай.

В отличие от газификации угля, газификация биомассы происходит при более низкой температуре. Из 1 кг биомассы можно получить до 0,6 кг биогаза, который на 18...20 % состоит из водорода.

Россия ежегодно накапливает до 300 млн т в сухом эквиваленте органических отходов: 250 млн т в сельскохозяйственном производстве, 50 млн т в виде бытового мусора.

**Энергия ветра.** Наиболее перспективными местами для производства энергии из ветра считаются прибрежные зоны.

Италия, Великобритания и Япония имеют примерно по 1 000 МВт установленных мощностей.

Около 20 % электричества Дании вырабатывается из ветра. Индия в 2005 году получает из энергии ветра около 3 % всей электроэнергии. Страны Евросоюза в 2005 году вырабатывают из энергии ветра около 3 % потребляемой электроэнергии.

Запасы энергии ветра более чем в 100 раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты.

Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэлектростанции зависит от силы ветра – фактора, отличающегося большим непостоянством. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезе. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности энергонагрузки (пики и провалы энергопотребления), регулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему способствует ее дестабилизации. Понятно, что ветроэнергетика требует резерва мощности в энергосистеме (например, в виде газотурбинных электростанций), а также механизмов сглаживания неоднородности их выработки (в виде ГЭС или ГАЭС). Данная особенность ветроэнергетики существенно удорожает получаемую от них электроэнергию.

Строительство ветряных установок усложняется необходимостью изготовления лопастей турбины больших размеров. Так, по проекту ФРГ установка мощностью 2...3 МВт должна иметь диаметр ветрового колеса 100 м, причем она производит такой шум, что возникает необходимость отключения ее в ночное время.

В штате Огайо была построена крупнейшая в мире ветросиловая установка 10 МВт. Проработав несколько суток, была продана на слом по цене 10 долл. за тонну. В радиусе нескольких километров жить стало невозможно из-за инфразвука, совпадающего с альфа-ритмом головного мозга.

К серьезным негативным последствиям использования энергии ветра можно отнести помехи для воздушного сообщения и для распространения радио- и телеволн, нарушение путей миграции птиц, климатические изменения вследствие нарушения естественной циркуляции воздушных потоков.

**Солнечная энергия.** Техническое использование солнечной энергии осуществляется в нескольких формах: применение низко- и высокотемпературного оборудования, прямое преобразование солнечной энергии в электрическую на фотоэлектрическом оборудовании.

Принципиальными особенностями солнечного излучения являются огромные потенциальные ресурсы (в 4 000 раз превышает прогнозируемые энергопотребности человечества в 2020 году). Поток солнечной энергии на поверхности Земли сильно зависит от широты и климата. В разных местах среднее количество солнечных дней в году может различаться очень сильно. Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно работает в утренних и вечерних сумерках. При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко

и неожиданно колебаться из-за смены погоды. Для преодоления этих недостатков нужно или использовать эффективные электрические аккумуляторы (на сегодняшний день это нерешённая проблема), либо строить гидроаккумулирующие станции, которые тоже занимают большую территорию, либо использовать концепцию водородной энергетики, которая также пока далека от экономической эффективности. Так, среднесуточная интенсивность солнечного излучения для средней полосы европейской части России составляет  $150 \text{ Вт/м}^2$ , что в 1 000 раз меньше тепловых потоков в котлах ТЭС.

К сожалению, пока не видно, какими путями эти огромные потенциальные ресурсы можно реализовать в больших количествах.

Практическая реализация концентрации солнечной энергии требует отчуждения огромных земельных площадей. Также к недостаткам солнечной энергетике относятся: дороговизна солнечных фотоэлементов, поверхность фотопанелей нужно очищать от пыли и других загрязнений. При их площади в несколько квадратных километров это может вызвать затруднения, эффективность фотоэлектрических элементов заметно падает при их нагреве, поэтому возникает необходимость в установке систем охлаждения, обычно водяных, через 30 лет эксплуатации эффективность фотоэлектрических элементов начинает снижаться, несмотря на экологическую чистоту получаемой энергии, сами фотоэлементы содержат ядовитые вещества, например свинец, кадмий, галлий, мышьяк и т. д., а их производство потребляет массу других опасных веществ. Современные фотоэлементы имеют ограниченный срок службы (30...50 лет), и массовое применение поставит в ближайшее же время сложный вопрос их утилизации, который тоже не имеет пока приемлемого с экологической точки зрения решения, недостаточный КПД солнечных элементов.

Для размещения СЭС мощностью 1 ГВт (эл.) в средней полосе европейской части необходима минимальная площадь при 10 % КПД в  $67 \text{ км}^2$ . К этому надо добавить еще и земли, которые потребуются отвести под различные промышленные предприятия, изготавливающие материалы для строительства и эксплуатации СЭС.

Следует подчеркнуть, что материалоемкость, затраты времени и людских ресурсов в солнечной энергетике в 500 раз больше, чем в традиционной энергетике на органическом топливе и атомной энергетике.

Действующая в Крыму СЭС мощностью 5 МВт потребила в 1988 году на собственные нужды в 20 раз больше энергии, чем произвела.

**Гидроэнергия.** Из всех этих видов возобновляемых источников энергии только гидроэнергия в настоящий момент вносит серьезный вклад во всемирное производство электроэнергии (17 %).

В большинстве промышленно развитых стран незадействованным на сегодня остался лишь незначительный по объему гидроэнергетический потенциал.

Так, в европейской части страны с наиболее напряженным топливным балансом использование гидроэнергетических ресурсов достигло 50 %, а их экономический потенциал практически исчерпан.

Гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф. Так, в 1979 году авария на плотине в Морви (Индия) унесла около 15 тыс. жизней, в Европе в 1963 году авария плотины в Вайонт (Италия) привела к гибели 3 тыс. человек.

Неблагоприятное воздействие гидроэнергетики на окружающую среду в основном сводится к следующему: затопление сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов, нарушение водного баланса, что ведет к изменению существования флоры и фауны, климатические последствия (изменение теплового баланса, увеличение количества осадков, скорости ветра, облачности и т. д.).

Перегораживание русла реки приводит к заиливанию водоема и эрозии берегов, ухудшению самоочищения проточных вод и уменьшению содержания кислорода, затрудняет свободное движение рыб.

С увеличением масштабов гидротехнического сооружения растет и масштаб воздействия на окружающую среду.

В гидроэнергетике кроме обычных ГРЭС существуют приливные электростанции (ПЭС). Приливные электростанции строят на берегах морей, где гравитационные силы Луны и Солнца дважды в сутки изменяют уровень воды. Колебания уровня воды у берега могут достигать 13 м.

Преимуществами ПЭС является экологичность и низкая себестоимость производства энергии.

Недостатками ПЭС являются высокая стоимость строительства и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего ПЭС может работать только в единой энергосистеме с другими типами электростанций.

**Геотермальная энергетика.** Широко распространена в Исландии и Новой Зеландии.

Ныне на долю геотермальных электростанций приходится 1,6 % «чистой» электроэнергии, производимой в США.

Повсеместно на планете на глубине 5...10 км под поверхностью земли протекают геотермальные воды, которые возможно использовать для получения энергии. Нагретые (иногда до температуры 6 тыс. градусов по шкале Цельсия) подземные воды выходят на поверхность земли в виде горячих источников или гейзеров, это тепло и может быть трансформировано в электрическую энергию или использоваться непосредственно для обогрева домов и теплиц.

Первый опыт генерирования электричества из геотермальных источников имел место в Италии в 1904 году. Впоследствии аналогичные электростанции были построены в Новой Зеландии, в Японии, на Филиппинах и в США; Рейкьявик, столица Исландии, отапливается геотермальными водами.

Отрицательными экологическими последствиями использования геотермальной энергии является возможность пробуждения сейсмической активности в районе электростанции, опасность локального оседания грунтов, эмиссия отравляющих газов (пары ртути, сероводорода, аммиака, двуокиси и окиси углерода, метана), которые представляют опасность для человека, животных и растений.

Проведенные исследования показали, что возможная роль возобновляемых источников энергии не выходит за пределы вспомогательного энергоресурса, решающего региональные проблемы. Ресурсы таких источников, как гидроэнергетика, энергия ветра, морских волн и приливов, недостаточны. Солнечная энергетика и энергетика геотермальная с теоретически неограниченными ресурсами характеризуются чрезвычайно низкой интенсивностью поступающей энергии.

Недостатком геотермальной энергетике также является невозможность строительства геотермальных станций в большинстве регионов планеты. Кроме того, есть пример того, когда построенная электростанция годами простаивала без дела, поскольку источник горячих вод неожиданно иссяк.

Необходимо помнить, что с использованием новых видов энергии возникает и новый тип экологических последствий, которые могут привести к изменению природных условий в глобальных масштабах и которые пока в полной мере трудно представить.

**Водородная энергетика** – экономичное и экологичное направление выработки и потребления энергии человечеством, основанное на использовании водорода в качестве средства для аккумуляирования, транспортировки и потребления энергии людьми, транспортной инфраструктурой и различными производственными направлениями. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности Земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая вновь вводится в кругооборот водородной энергетике).

#### **Производство водорода**

В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода: из природного газа; газификация; электролиз воды; получение водорода из биомассы или атомной энергии.

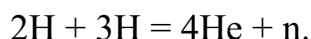
Ведутся работы по созданию атомных электростанций следующего поколения. Исследовательская лаборатория INEEL (Idaho National Engineering

Environmental Laboratory, США) прогнозирует, что один энергоблок атомной электростанции следующего поколения будет производить ежедневно водород, эквивалентный 750 000 литров бензина. Департамент энергетики США (DoE) прогнозирует, что стоимость водорода сравняется со стоимостью бензина к 2015 году.

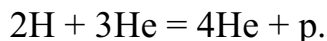
Водородные топливные элементы, одним из основных достоинств которых является высокий КПД, имеют и свои слабые стороны. В частности, высокую стоимость и повышенные требования к чистоте используемого водорода. Получение же высокоочищенного водорода, в свою очередь, ведет к снижению общих экономических показателей топливо-элементной водородной энергетики. Это является существенным сдерживающим моментом в развитии, например, водородных топливных элементов на автомобилях. В этой связи в России, как и в других странах, ведутся работы и по непосредственному использованию неочищенного топливного водорода в обычных ДВС.

**Управляемый термоядерный синтез (УТС)** – синтез тяжёлых атомных ядер, полученных из более лёгких, носит управляемый характер в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в термоядерном оружии). Солнце – природный термоядерный реактор. Управляемый термоядерный синтез отличается от традиционной ядерной энергетики тем, что в последней используется реакция распада, в ходе которой из тяжёлых ядер получают более лёгкие ядра. В основных ядерных реакциях, которые планируется использовать в целях осуществления управляемого термоядерного синтеза, будут применяться дейтерий ( ${}^2\text{H}$ ) и тритий ( ${}^3\text{H}$ ), а в более отдалённой перспективе гелий-3 ( ${}^3\text{He}$ ).

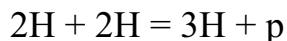
Самая легко осуществимая реакция – дейтерий + тритий:



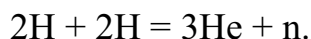
Существенно сложнее, на пределе возможного, осуществить реакцию дейтерий + гелий-3:



Также возможны реакции между ядрами дейтерия, они идут немного труднее реакции с участием гелия-3:



и



Эти две реакции протекают медленно, параллельно с реакцией дейтерий + гелий-3, а образовавшиеся в процессе тритий и гелий-3 с большой вероятностью немедленно реагируют с дейтерием.

Рассмотрим возможности осуществления обеих реакций.

Перспективная термоядерная энергетика, использующая в качестве основы реакцию синтеза дейтерий–тритий имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, при этой реакции выделяется куда большее (на порядок!) число высокоэнергетичных нейтронов, чем в ядерной энергетике. Столь интенсивного нейтронного потока ни один из известных материалов не может выдержать свыше шести лет – при том что имеет смысл делать реактор с ресурсом, как минимум, в 30 лет. Следовательно, первую стенку тритиевого термоядерного реактора будет необходимо заменять – а это очень сложная и дорогостоящая процедура, связанная к тому же с остановкой реактора на довольно длительный срок.

Во-вторых, от мощного нейтронного излучения необходимо экранировать магнитную систему реактора, что усложняет и, соответственно, удорожает конструкцию.

В-третьих, многие элементы конструкции тритиевого реактора после окончания эксплуатации будут высокоактивными и потребуют захоронения на длительный срок в специально созданных для этого хранилищах.

В-четвертых, источников трития в природе нет, тритий придётся нарабатывать непосредственно на реакторе, а это создает дополнительные сложности. Кроме того, в реакции дейтерий–тритий 80 % энерговыход приходится на нейтроны, и лишь 18 % – на заряженные частицы, что уменьшает КПД энергетического реактора.

В случае же использования в термоядерном реакторе дейтерия с изотопом гелия-3 (вместо трития) большинство проблем удастся решить. Интенсивность нейтронного потока падает в 30 раз. Соответственно, можно без труда обеспечить срок службы в 30...40 лет. После окончания эксплуатации гелиевого реактора высокоактивные отходы не образуются, а радиоактивность элементов конструкции будет так мала, что их можно захоронить буквально на городской свалке, слегка присыпав землей.

В чем же проблема? Почему мы до сих пор не используем такое выгодное термоядерное топливо?

Прежде всего потому, что на нашей планете этого изотопа чрезвычайно мало. Рождается он на Солнце, отчего иногда называется «солнечным изотопом». Его общая масса там превышает вес нашей планеты. В окружающее пространство гелий-3 разносится солнечным ветром. Магнитное поле Земли отклоняет значительную часть этого ветра, а потому гелий-3 составляет лишь одну триллионную часть земной атмосферы – примерно 4 000 т. На самой Земле его еще меньше – около 500 кг.

На Луне этого изотопа значительно больше. Там он вкрапляется в лунный грунт «реголит», по составу напоминающий обычный шлак.

По различным оценкам в лунном грунте содержится около миллиарда тонн  $^3\text{He}$ , из-за этого его зовут лунным гелием. Этого хватит Земле на 50 млн лет.

Гелий-3 можно найти, кроме Луны, в плотных атмосферах планет-гигантов, и запасы его, по теоретическим оценкам, только на Юпитере составляют 1 020 т, чего хватило бы для энергетики Земли до окончания времен.

На пути к созданию энергетики на основе гелия-3 есть одна немаловажная проблема. Дело в том, что реакцию дейтерий–гелий-3 осуществить гораздо сложнее, чем реакцию дейтерий–тритий. В первую очередь, необычайно трудно поджечь смесь этих изотопов. Расчетная температура, при которой пойдет термоядерная реакция в дейтерий–тритиевой смеси, – 100...200 млн градусов. При использовании гелия-3 требуемая температура на два порядка выше. Фактически мы должны зажечь на Земле маленькое солнце.

Впрочем, зажечь смесь еще полдела. Минус термоядерной энергетики – сложность получения практической отдачи, ведь рабочим телом является нагретая до многих миллионов градусов плазма, которую приходится удерживать в магнитном поле.

Эксперименты «по приручению» плазмы проводятся уже многие десятилетия, но лишь в конце июня прошлого года в Москве представителями ряда стран было подписано соглашение о строительстве на юге Франции в городе Кадараш Международного экспериментального термоядерного реактора (ITER) – прототипа практической термоядерной электростанции. В качестве топлива ITER будет использовать дейтерий с тритием.

Термоядерный реактор на гелии-3 будет конструктивно сложнее, чем ITER, и пока его нет даже в проектах. И хотя специалисты надеются, что прототип реактора на гелии-3 появится в ближайшие 20...30 лет, пока эта технология остается фантастикой.

### **4.3. Ядерная энергетика**

#### ***4.3.1. Ядерная энергетика в мире: состояние и перспективы (безопасность, экономика, экология)***

Энергообеспечение общества является одним из важнейших факторов, определяющих уровень его развития. В XXI веке этот фактор стал ключевым, без него дальнейшее развитие общества просто невозможно. По данным Управления энергетической информации США (EIA), потребление энергии на планете увеличится на 54 % до 2025 г. Уже очевидно, что глобальный энергетический кризис не перспектива какого-то отдаленного будущего, а реальная опасность завтрашнего дня. Россия не исклю-



чение и также находится на пороге дефицита электроэнергии. Реальные темпы роста потребления электроэнергии в стране уже превышают показатели, заложенные в энергетической стратегии, в полтора раза.

Кроме того, какими бы запасами органического топлива ни располагал мир (прогнозы достаточно негативные), вопрос: «Насколько их хватит?» теперь уже во многом лишен смысла. Главным стал другой вопрос: «Насколько их можно использовать?»

Сегодня уже очевидно, что перспективы энергообеспечения на длительный период времени не могут более связываться с углеводородным топливом, как базовым энергоисточником. Аргументы здесь известны: это топливо невозобновляемо, ресурсы его ограничены, стоимость добычи и транспортировки неумолимо растёт и, наконец, энерготехнологии на его основе не могут в принципе удовлетворять экологическим требованиям, соответствующим современному пониманию процессов, происходящих в окружающей среде.

По прогнозам Международного энергетического агентства, потребности в первичных энергоносителях в первом десятилетии XXI века будут удовлетворены в следующих соотношениях: нефть – не более 40 %, газ – менее 24 %, твердые виды топлива (в основном уголь) – менее 30 %, ядерная энергия – 7 %, гидроэнергетика – 7 %, возобновляемые виды энергии – менее 1 %. Региональное потребление первичных энергоносителей может иметь отклонения от мировых тенденций.

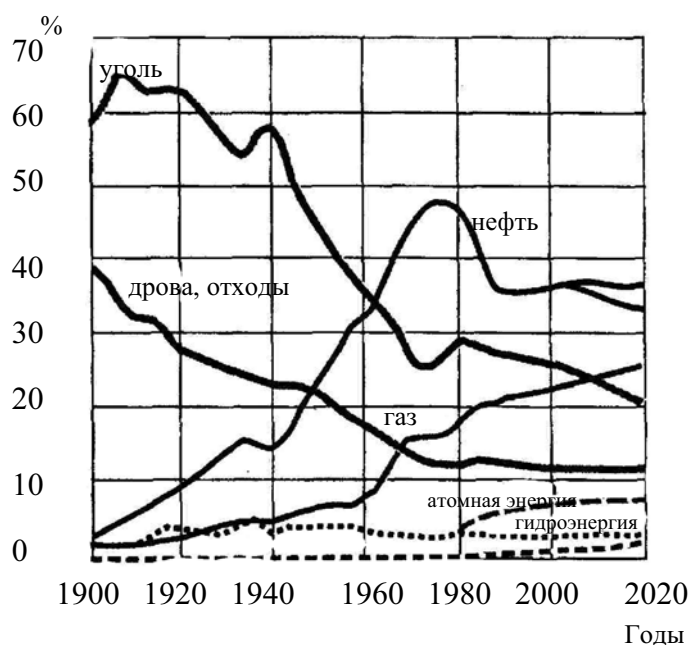


Рис. 4.1. Структура мирового потребления энергоресурсов

По данным Мирового энергетического конгресса, в первые 20 лет XXI века рост энергопотребностей будет выше, чем за весь XX век, при увеличении населения до 8 млрд человек.

Повышенное внимание общества говорит о том, что ядерная энергетика не достигла уровня развития традиционной энергетики сжигания органического топлива или автомобилестроения, к проблемам которых общество практически равнодушно. Сложившийся образ атомной энергетики, как врага природы и экологии, явно устарел.

Вся промышленная деятельность человечества (в том числе и атомная, и тепловая энергетика) оказывает техногенное воздействие на окружающую природную среду. Но когда начинаешь сравнивать вред от других технологий, общий риск для жизни, то приходишь к выводу, что без АЭС может быть ещё хуже.

Несмотря на высокую опасность производства, связанного с радиацией, в мире за 50 лет от переоблучения погибло меньше людей, чем погибает ежедневно в результате автомобильных аварий. По данным ученых США, вероятность погибнуть в результате аварии на предприятиях атомной промышленности в 100 раз ниже, чем в автомобильной катастрофе, и в 1 000 раз ниже, чем от болезни сердца.

В XXI веке к атомной энергетике предъявляются 5 основных требований: безопасность, утилизация плутония и недопущение его распространения, топливообеспечение, переработка и захоронение РАО, экономичность, конкурентоспособность. Триединство качеств ядерной энергетики – потенциал энергоресурсный (теплотворная способность ядерного топлива в 2...3 млн раз больше, чем у традиционных видов), энергоэкономический (экономические показатели не зависят от места расположения) и энергоэкологический (отсутствие вредных выбросов) – позволит выполнить эти основные требования.

В настоящее время атомная энергетика сохраняет свои позиции, как один из основных мировых источников энергии.

На атомную энергию приходится 6 % мирового топливно-энергетического баланса и 17 % производимой электрической энергии.

Наработано уже более 10 000 реакторо-лет, из них 7 000 – без крупных аварий после апреля 1986 года. В 2020 году будет эксплуатироваться более 500 блоков АЭС.

В 2006 году в 31 стране мира действовало 442 энергоблока. В стадии строительства находится 35 энергоблоков.

В дополнение к атомным электростанциям имеется около 300 научно-исследовательских и экспериментальных ядерных реакторов в 56 странах. Они используются для изучения ядерных технологий, при

медицинской диагностике и лечении рака. Свыше 200 ядерных реакторов позволяют плавать кораблям.

По данным МАГАТЭ, к странам, в которых доля АЭС в общей выработке электроэнергии наиболее высока, относятся: Франция – 77,1 %; Литва – 77,7 %; Бельгия – 58 %; Словакия – 53,4 %; Украина – 46 %; Болгария – 41,6 %; Республика Корея – 39,3 % и др. В 16 странах с помощью АЭС удовлетворяется более четверти потребностей в электроэнергии. Сегодня отмечается стабилизация установленных мощностей АЭС в Западной Европе и США и быстрый их рост в Азии (Япония, Китай, Тайвань, Южная Корея, Индия). Анализ показывает, что подтверждается и заявленными намерениями ряда стран мира, что уже к середине века потребуются более чем пятикратное увеличение объемов ядерной энергетики в мире с дальнейшим ее наращиванием к концу века еще в 2...3 раза. Так, в 2020 году Индия планирует в 10 раз увеличить свои ядерные энергетические мощности, а Китай в шесть раз. К 2015 году Республика Корея планирует построить еще 8 ядерных энергоблоков общей мощностью 11,1 ГВт.

Сегодня многие страны готовы пересмотреть сроки вывода АЭС из эксплуатации в сторону увеличения, а в дальнейшем – и возобновить строительство АЭС.

Новые заявления нового руководства Германии, во главе с Ангелой Меркель, о возрождении атомной отрасли не вызвали беспокойства в обществе. С 1998 года (отказ Германии от АЭС) зафиксирован многократный рост цен на энергоресурсы и значительное отставание темпов развития возобновляемых источников энергии. По оценкам специалистов, замена существующих немецких АЭС на ТЭЦ и генерация от ветра и солнца повлечёт рост себестоимости электроэнергии до 80 %, что нанесёт тяжёлый удар по экономике. Кроме того, резко ухудшится экологическая ситуация.

Повышенное внимание ядерной энергетике уделяет и американская администрация Дж. Буша.

США в феврале 2006 г. объявили о намерении довести в следующие 40 лет мощность АЭС до 300 ГВт (за последние 30 лет не было строительства).

По данным американского Института атомной энергии (NEI), США в 2006 г. по количеству электроэнергии, произведенной на атомных станциях, впервые за всю историю отрасли вышли на второе место. Одновременно затраты на производство достигли рекордно низких показателей. На 103 энергоблоках, расположенных на 31 промышленной площадке, было произведено в общей сложности 787,6 млрд кВт·ч электроэнергии, что уступает только абсолютному рекорду 2004 г. – 788,5 млрд кВт·ч. Атомные станции обеспечили пятую часть всей электроэнергии, потребленной

в стране. На их долю также пришлось 75 % электроэнергии, выработанной источниками, включая возобновляемые технологии и гидроэлектростанции, которые не производят выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Средняя себестоимость производства, включая затраты на закупку топлива, эксплуатацию и техническое обслуживание, составила в 2006 г. рекордно низкие цены – 1,66 цента на киловатт-час. При этом средняя себестоимость вот уже восемь лет держится ниже отметки 2 цента за киловатт-час. Это дает ядерной энергетике возможность успешно конкурировать с другими энергоисточниками, особенно с теми, которые производят большое количество электроэнергии. «Безопасность, высокая производительность и эффективность работы АЭС являются неоспоримым свидетельством того, что наша бизнес-схема работает и подтверждает необходимость строительства нового поколения атомных станций с целью помочь Америке удовлетворить все ее энергетические потребности», – заявил исполнительный директор NEI Фрэнк Боумэн.

С 1990 г. производство электроэнергии на АЭС в США возросло на 39 %, что эквивалентно вводу в строй более чем 26 ядерных энергоблоков большой мощности и позволило избежать выбросов в атмосферу огромного количества парниковых газов и загрязняющих веществ. Средняя себестоимость электроэнергии достигла рекордно низкой отметки, хотя цены на топливо за три последних года значительно выросли. Даже с учетом затрат на налоги, отчислений в фонд по выводу из эксплуатации и годового прироста капитала при расчете общей стоимости производства электроэнергии, электроэнергия, произведенная на АЭС, как правило, стоит менее 2,5 цента за киловатт-час. Для сравнения сообщим, что, согласно данным «Global Energy Decisions», средняя себестоимость ее производства на электростанции на природном газе в 2005 г. равнялась 7,5 цента за киловатт-час.

По предварительным данным, в 2006 г. средний коэффициент использования установленной мощности АЭС США составлял 89,9 %. Это немного выше, чем в 2005 г. (89,3 %). Рекордно высокий показатель – 92 % – был установлен в 2002 г. «Энергетический сектор должен предпринимать совместные усилия по всем направлениям производства, а также в части повышения эффективности, чтобы обеспечивать значительные потребности страны в электроэнергии, – подчеркнул Ф. Боумэн. – Тем не менее, производственные показатели, достигнутые на американских АЭС в 2006 г., свидетельствуют о том, что будущая энергетическая безопасность страны частично зависит от увеличения доли экологически чистой, безопасной и доступной атомной энергии.»

В Финляндии началось сооружение нового энергоблока. Руководство Турции обнародовало решение о строительстве 3 энергоблоков. По словам премьер-министра Италии, политическое решение десятилетней давности

о закрытии 4 АЭС привело к тому, что значительно подорожала электроэнергия. В последнее время, на фоне растущих цен на нефть, правительство ряда стран, в том числе Великобритании, Китая, Швеции, Индии, заявляют о необходимости массированного развития атомной энергетики.

Кабинет министров Японии издал программный документ, в котором одобрено приоритетное развитие атомной энергетики. В программе указывается: «С учётом экономичности, стабильности и экологической чистоты, следует признать атомную энергию наиболее важным энергисточником, который должен получить в перспективе стабильное развитие при условии соблюдения требований безопасности». Это означает, что в дополнение к ныне действующим в Японии 54 энергоблокам потребуется построить к 2010 году ещё двадцать энергоблоков. И это в стране, которая испытала ужас атомной бомбардировки, в стране самой высокой продолжительности жизни и самых совершенных технологий, стране повышенной сейсмической активности.

В настоящее время ядерная энергетика по-прежнему остаётся конкурентоспособной. Это можно считать доказанным для Франции и большинства европейских и азиатских государств. Посмотрим на Запад, где безжалостная конкуренция определяет, что выгоднее. Капитальные затраты на АЭС выше, чем на ТЭС на ископаемом топливе, но и самые низкие затраты на топливо (в 2 раза и более). В капитальные затраты для АЭС включены отчисления на снятие станции с эксплуатации и хранение отходов. Во Франции, имеющей самое большое количество действующих АЭС в Европе, эти отчисления составляют 15 % от общих капитальных затрат. По предварительным оценкам отечественных специалистов, затраты на полную ликвидацию энергоблоков АЭС составляют до 20...30 % капитальных затрат на их сооружение (по оценкам специалистов США, эти затраты – 7...10 %), что ведет к незначительному (1 %) увеличению стоимости энергии. В перспективе суммарные расходы на АЭС будут меньше благодаря более низкой стоимости ядерного топлива и устойчивости к инфляции. Эксплуатационные расходы на ТЭС возрастут, и значительно, т. к. потребуются дополнительные затраты, которые повлекут за собой ожидаемый пересмотр экологических нормативов.

Цена атомной энергии в странах Западной Европы ниже, по сравнению со станциями, работающими на газе, в 2,5 раза, на мазуте – в 2 раза, на угле – в 1,5 раза. Работа в течение 10 лет 34 реакторов, мощностью 900 МВт (эл.) каждый, сэкономила для Франции не менее 150 млрд франков и предотвратила огромное количество выбросов.

В США себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой на ТЭС (уголь), – 2,07 цента; газа – 3,52 цента. По данным за август 2005 года, средняя стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, производимой на АЭС, составила 1,59 цента.

При средней мировой внешней цене 1 кВт·ч электроэнергии в 4 цента, внешняя стоимость, которая включает в себя затраты на ликвидацию всех воздействий на природу от способа преобразования энергии, не учитываемые, сейчас будет следующая: уголь ТЭЦ – 10,5 цента; мазутные – 4,7; газовые – 2,4; АЭС – 0,2.

Самостоятельно могут строить АЭС только Россия, США, Франция, Япония. Цена строительства блока АЭС около 1,5 млрд долл.

При вводе одной новой АЭС в Европе ожидается один фатальный рак (работа в течение года). Ежегодно в Европе умирают от рака 800 000 человек.

Таблица 4.2

*Энергоблоки АЭС (по состоянию на 31.12.2006 г.),  
выработка электроэнергии и процентная доля атомной  
энергетики в общей выработке электроэнергии за 2006 г.  
(Источники: данные эксплуатационников, МАГАТЭ, nucnet)*

Страна	В эксплуатации			Строятся			Производство ядерной энергии в 2006 г., 1Е+0,6 МВт·ч	Процентная доля в общей выработке электроэнергии
	Число	Мощность		Число	Мощность			
		Брутто, МВт (эл.)	Нетто, МВт (эл.)		Брутто, МВт (эл.)	Нетто, МВт (эл.)		
Аргентина	2	1 005	935	–	–	–	6,9	7
Армения	1	408	376	–	–	–	2,4	42
Бельгия	7	6 092	5 801	–	–	–	44,3	54
Бразилия	2	2 007	1 901	–	–	–	13,8	3
Болгария	2	2 000	1 906	–	–	–	18,1	44
Китай	10	8 074	7 602	5	4 534	4 220	54,8	2
Германия	17	21 366	20 339	–	–	–	158,7	26
Финляндия	4	2 800	2 696	1	1 720	1 600	22,0	28
Франция	59	66 160	63 363	–	–	–	428,0	78
Великобритания	19	11 902	10 982	–	–	–	69,2	19
Индия	16	3 800	3 463	7	3 380	3 164	15,6	3
Иран	–	–	–	1	1 000	953	–	–
Япония	56	49 660	47 843	2	2 335	2 237	291,5	30
Канада	18	13 360	12 596	–	–	–	92,4	16
Корея (Респ.)	20	18 393	17 454	4	4 000	3 800	141,2	39
Литва	1	1 300	1 185	–	–	–	8,7	70
Мексика	2	1 366	1 310	–	–	–	10,4	5

Страна	В эксплуатации			Строятся			Производство ядерной энергии в 2006 г., 1E+0,6 МВт·ч	Процентная доля в общей выработке электроэнергии
	Число	Мощность		Число	Мощность			
		Брутто, МВт (эл.)	Нетто, МВт (эл.)		Брутто, МВт (эл.)	Нетто, МВт (эл.)		
Нидерланды	1	515	485	–	–	–	3,3	4
Пакистан	2	462	425	1	300	280	2,5	3
Румыния	1	706	650	1	706	650	5,2	9
Россия	31	23 242	21 770	5	4 800	4 534	144,3	16
Швеция	10	9 406	8 976	–	–	–	65,0	48
Швейцария	5	3 372	3 220	–	–	–	26,3	37
Словакия	5	2 200	2 040	–	–	–	16,6	57
Словения	1	727–	696	–	–	–	5,3	40
Испания	8	7 728	7 446	–	–	–	57,4	20
Южная Африка	2	1 888	1 800	–	–	–	10,1	4
Тайвань	6	5 144	4 884	2	2 712	2 630	37,0	22
Чехия	6	3 734	3 500	–	–	–	24,5	32
Украина	15	13 818	13 090	–	–	–	84,8	48
Венгрия	4	1 866	1 755	–	–	–	12,5	38
США	104	104 787	99 932	–	–	–	787,2	19
Итого:	437	389 488	370 441	29	25 467	24 068	2 660,0	–

Россия – крупнейший экологический донор планеты. По оценкам экспертов ООН, комплексный показатель вклада России в сохранение устойчивости биосферы равен 10 % общепланетарного баланса (США и Канада – по 5 %, Бразилия – 7 %). Россия – кладовая полезных ископаемых планеты. Имея всего 3 % населения мира, она располагает 13 % территорий планеты, где сосредоточено 35 % запаса мировых ресурсов. На каждого жителя в России приходится 11,7 условных единиц ресурсов (в США – 2, в Западной Европе – 0,67). В этом плане каждый россиянин в 6 раз богаче американца и в 17 раз европейца.

Недостаток пресной воды во многих странах гораздо острее, чем недостаток земли или энергоресурсов.

Минимальная потребность в пресной воде для жителя развитой страны считается 1 000 м<sup>3</sup> в год.

Между тем, собственные ресурсы пресной воды в Кувейте составляют всего 11 м<sup>3</sup> на душу населения в год, в Египте 40 м<sup>3</sup> на душу населения в год, в Объединенных Арабских Эмиратах 62 м<sup>3</sup> на душу населения в год и т. д.

Суммарный сток российских рек – 20 000 м<sup>3</sup> на душу населения в год. 1/3 всей пресной воды на планете – в России. По оценкам Всемирной продовольственной организации, прибыль от торговли питьевой водой уже сейчас составляет десятки процентов от прибыли нефтяных компаний и растет быстрее.

Россия, как известно, является родиной ядерной энергетики: первая в мире АЭС была построена в Обнинске и запущена в эксплуатацию 27 июня 1954 г. Не «дожив» всего двух лет до своего полувекowego юбилея, был заглушен реактор исторической АЭС. Это произошло 29 апреля 2002 г. по решению руководства бывшего Минатома России в связи с нерентабельностью дальнейшей ее эксплуатации. Согласно распространенной в те дни информации пресс-службы Минатома России, со временем на первой в мире АЭС будет создан музей.

С принятием в конце 2005 г. в промышленную эксплуатацию третьего энергоблока Калининской АЭС число действующих энергоблоков в стране достигло 31, а их установленная мощность составила 23 242 МВт. В 2007 году доля АЭС в производстве электроэнергии в России составляла около 17 %.

Сегодня в стадии строительства в стране находится наибольшее в Европе число энергоблоков – 4. Согласно планам руководства, три из них должны вступить в строй до 2010 г. Это второй энергоблок Волгодонской АЭС, четвертый – Калининской и пятый – Балаковской АЭС.

В результате достройки 4-х энергоблоков нашему государству обеспечена экономия не менее 400 млрд м<sup>3</sup> газа. И даже по ценам внутреннего рынка экономия газа составит огромную сумму – более 5 млрд долл. С учетом того, что цена на внешнем рынке в пять и более раз выше, получается астрономическая цифра.

В 2006 г. атомные станции России выработали свыше 147,6 млрд кВт·ч электроэнергии, что составило 103,2 % от выработки за аналогичный период 2005 г.

Работа российских АЭС характеризуется как безопасная и надежная. Радиационный фон на самих АЭС и прилегающих территориях соответствует показателям нормальной эксплуатации энергоблоков и не превышал естественных природных значений.

Производство энергии на АЭС обеспечивает экономию (замещение) до 40 млрд м<sup>3</sup> природного газа или 30 % от его потребления в электроэнергетике для производства электрической и тепловой энергии на ТЭС.

В.В. Путин поддержал опережающий рост атомной энергетики. Сделал он это в ходе своей ежегодной пресс-конференции в Кремле в присутствии более 1 000 журналистов российских и зарубежных СМИ, так что сигнал был подхвачен с максимально возможной скоростью. За



первым анализом озвученных В.В. Путиным цифр и задач большинство не увидело главного – впервые за всю новейшую историю глава государства высказался в поддержку развития атомной энергетики (до этого ни один представитель высшего руководства страны даже не пытался комментировать перспективы атомной отрасли). Публичная позиция В.В. Путина на корню обрубилла все домыслы и пересуды на предмет – нужно строить новые атомные станции или нет. Ответ один – нужно.

Он поставил весьма жёсткие темпы её «разгона» – до 25 % в общем объёме генерации до 2030 года вместо сегодняшних 16 %. Это означает введение в строй, с учётом вывода атомных энергетических мощностей в связи с окончанием сроков эксплуатации, до трёх энергоблоков мощностью в один гигаватт ежегодно. Напомним, что в советские времена в России лишь раз удалось ввести в строй три энергоблока в один год.

Таблица 4.3

*Действующие АЭС России*

АЭС	Номер блока	Тип реактора	Электрическая мощность (брутто), МВт	Год ввода в эксплуатацию	Проектный год окончания эксплуатации
Белоярская	1	АМБ	100	1963	1980
	2	“	160	1967	1989
	3	БН-600	600	1980	2010
Билибинская	1	ЭГП	12	1974	2004
	2	“	12	1974	2004
	3	“	12	1975	2005
	4	“	12	1976	2006
Балаковская	1	ВВЭР-1000	1 000	1985	2015
	2	“	1 000	1987	2017
	3	“	1 000	1988	2018
	4	“	1 000	1993	2023
Калининская	1	“	1 000	1984	2014
	2	“	1 000	1986	2016
	3	“	1 000	2004	–
Кольская	1	ВВЭР-440	440	1973	2003
	2	“	440	1974	2004
	3	“	440	1981	2011
	4	“	440	1984	2014
Курская	1	РБМК-1000	1 000	1976	2006
	2	“	1 000	1978	2008
	3	“	1 000	1983	2013
	4	“	1 000	1985	2015

Окончание табл. 4.3

АЭС	Номер блока	Тип реактора	Электрическая мощность (брутто), МВт	Год ввода в эксплуатацию	Проектный год окончания эксплуатации
Ленинградская	1	“	1 000	1973	2003
	2	“	1 000	1975	2005
	3	“	1 000	1979	2009
	4	“	1 000	1981	2011
Нововоронежская	1	В-1	210	1964	1984
	2	В-3	365	1969	1990
	3	ВВЭР-440	440	1971	2001
	4	“	440	1972	2002
	5	ВВЭР-1000	1 000	1980	2010
Смоленская	1	РБМК-1000	1 000	1982	2012
	2	“	1 000	1985	2015
	3	“	1 000	1990	2020
Волгодонская	1	ВВЭР-1000	1 000	2001	–

Таблица 4.4

Обязательная программа вводов на АЭС (всего 32 130 МВт)  
Блоки 880...1000 МВт

2009 г.	Волгодонская АЭС (2 бл.) – 1 000 МВт
2010 г.	Курская АЭС (5 бл.)* – 1 000 МВт
2011 г.	Калининская АЭС (2 бл.) – 1 000 МВт
2012 г.	Белоярская АЭС (2 бл.) – 880 МВт
Итого	3 880 МВт

Таблица 4.5

Блоки 1 150 МВт

2012 г.	Нововоронежская АЭС-2 (1 бл.)
2013 г.	Ленинградская АЭС-2 (1 бл.)
	Нововоронежская АЭС-2 (2 бл.)
2014 г.	Волгодонская АЭС (3 бл.)
	Ленинградская АЭС-2 (2 бл.)
2015 г.	Ленинградская АЭС-2 (3 бл.)
	Тверская АЭС (1 бл.)
	<b>Северская АЭС (1 бл.)</b>
2016 г.	Волгодонская АЭС (4 бл.)
	Нижегородская АЭС (1 бл.)
	Южно-Уральская АЭС (1 бл.)

2017 г.	Тверская АЭС (2 бл.)
	Центральная АЭС (1 бл.)
	Северская АЭС (2 бл.)
2018 г.	Ленинградская АЭС-2 (4 бл.)
	Нижегородская АЭС (2 бл.)
	Южная-Уральская АЭС (2 бл.)
2019 г.	Тверская АЭС (3 бл.)
	Южная-Уральская АЭС (3 бл.)
	Центральная АЭС (2 бл.)
2020 г.	Нижегородская АЭС (3 бл.)
	Южная-Уральская АЭС (4 бл.)
	Тверская АЭС (4 бл.)
Итого	26 450 МВт

Необходимость «энергетического рывка» продиктована стремительно нарастающей остротой ситуации на мировом энергетическом рынке, связанной с истощением и существенным удорожанием газонефтяных инъекций в мировую экономику.

Немаловажную роль играет и увеличение населения планеты и ухудшение экологической обстановки.

В ядерно-энергетическом комплексе мы в состоянии удерживать конкурентоспособность еще некоторое время. Но если кардинально не изменить ситуацию, то через 15...20 лет мы не сможем этого делать. Сегодня мы производим 16 % электроэнергии в стране, а к 2030 году, если ничего не менять, будем производить только 1,3 % с учетом выбытия существующих мощностей АЭС России. Если продлить срок эксплуатации всех наших станций на 10...15 лет, то мы будем производить 2 %, а если строить новые станции теми темпами, которыми мы строим сейчас, то к 2030 году будем производить 3,2 %. В общем, можно будет констатировать, что ядерной энергетики в России просто не станет.

Решение о развитии ядерной энергетики нельзя откладывать, т. е. у нас нет возможности, как в других отраслях, сказать: «Давайте мы лет двадцать не будем развивать ядерную энергетику, а потом, когда вот это все произойдет, мы ее быстренько разовьем и будем поддерживать соответствующий уровень». Такое решение невозможно. Или это решение принимается сейчас, или через двадцать лет мы не сможем развернуть этот процесс чисто технически в связи с потерей технологии, со сменой поколений специалистов, которые являются сегодня уникальными носителями знаний.

Атомная отрасль – самая безопасная в промышленности. Среднестатистический риск для персонала в промышленности РФ составляет

потерю 0,94 сут жизни за год работы (травматизм, профзаболевания и т. д.). В угольной промышленности – 2,21 сут, в атомной – 0,32 сут.

Атомная отрасль не относится к числу главных источников ни по одному из основных показателей загрязнения окружающей природной среды:

- доля выбросов в общепромышленных выбросах – 0,6 %,
- доля в сбросе загрязненных сточных вод – 4,6 %,
- доля в суммарном объеме ежегодно образующихся и накопленных токсичных химических отходов – 1,1 %,
- доля в общей площади нарушенных земель – 1 %,
- площадь земель, пострадавших от р/а загрязнения не превышает 0,3...0,4 % от общей площади земель, находящихся в состоянии экологического кризиса.

Доля лесов, погибших от радиационного поражения за всю историю атомной промышленности (около 55 лет), составляет 0,3...0,4 % от массивов ежегодной гибели лесов в стране.

Гипотетический вклад техногенного радиационного облучения в ежегодную смертность населения России составляет 0,00005 %.

По состоянию на конец 2006 г. себестоимость 1 кВт·ч на АЭС в европейской части России составила 19,2 коп. На ТЭС газ – 36,6 коп. (в два раза выше). Это цифры для тарифицированного газа и ядерного топлива. Если взять нетарифицированное топливо (установленную тарифом в несколько раз меньшую плату за него по сравнению с фактическими затратами на его добычу и транспорт), то разница в исходных издержках на производство электроэнергии на АЭС и ТЭС увеличится в 4...5 раз в пользу АЭС.

В 2006 г. в среднем тариф на шины (затраты на производство) АЭС в европейской части России составляет 19,2 коп/(кВт·ч), по газовым станциям – 23,6, мазутным – 72,7, газо-мазутным – 34,5, угольным – 44,5, по всем ТЭС в среднем – 36,6. Собственные затраты на производство электроэнергии не учитывают еще затраты на сопровождение эксплуатации АЭС и развитие атомной энергетики, учет повысит стоимость до 35,2 коп/(кВт·ч).

Если учесть эти затраты РАО «ЕЭС России», то стоимость будет равной 40,8 коп/(кВт·ч), т. е. в 1,2 раза дороже.

Темпы роста тарифов для ТЭС опережают темпы роста тарифов на АЭС. 1 млрд кВт·ч атомной электроэнергии экономит стране 330 млн м<sup>3</sup> газа.

Стоимость перевозки угля на угольные ТЭЦ в европейской части России выше, чем стоимость самого угля. Для парогазовых станций затраты на топливо 60...75 % от общей стоимости выработки электроэнергии, на АЭС – до 15 %.

Если пересчитать гибель людей в эквивалентное удорожание электроэнергии, то для угольных станций стоимость энергии увеличивается в 3...4 раза, для ядерных – менее чем на 1 %. В целом по стране от ТЭЦ гибнет, заболев раком, более 20 000 человек в год.

Руководителем Росатома С. Кириенко была обозначена цель – до 2010 г. Нарастивать мощность АЭС на 1,5 ГВт, начиная с 2012 г. – по 3 ГВт. Суммарный рост мощности к 2030 г. должен составить 40 ГВт, что требует 60 млрд долл.

### **Некоторые сопоставления газовой и ядерной энергетики**

Основные инвестиционные вложения в топливдобывающей газовой промышленности приходятся на газопроводы. Почти все промышленные и межпромышленные, а также значительная часть магистральных газопроводов располагаются в отдаленных районах Севера, где прокладка сопряжена со значительными дополнительными затратами. Выделяя долю затрат на газопроводы, соответствующую доле сжигаемого в ТЭС газа в общем объеме добываемого «голубого» топлива, и относя эти затраты к электрической мощности тепловых электростанций, можно получить сравнительную оценку инвестиционных затрат на топливообеспечение электроэнергетики на газе.

Поразительный результат, свидетельствующий о том, что и с точки зрения расходования инвестиционных ресурсов ядерная энергетика почти в три раза экономичнее газовой, тоже закономерен. Здесь снова решающее значение проявляет природная слагаемая российских затрат. Следует отметить, что при расчете не учитывались распределительные газопроводы для функционирования газовой энергетики, а также капиталовложения в промышленное газовое хозяйство; принимался уменьшенный северный повышающий коэффициент в промышленные и межпромышленные трубопроводы. Округления делались в пользу газовой энергетики, все расчетные завышения выполнены не в пользу ядерной энергетики (особенно это касается затрат на ядерный цикл). Не учитывался также временной фактор. Сроки службы основных фондов, особенно трубопроводного, в газодобывающей промышленности в несколько раз меньше, чем в ядерно-энергетической.

Несмотря на увеличение объема добычи газа, удельные инвестиции в его добычу растут примерно на 30 % за 5 лет. Это означает, что каждые 5 лет как минимум на 30 % будет увеличиваться топливная составляющая стоимости электроэнергии. Иными словами, примерно к середине XXI века топливная составляющая электроэнергии на газовых электростанциях увеличится больше чем на порядок. Соответственно возрастут и цены на электроэнергию. Экспорт газа в Европу будет непрерывно сокращаться из-за высоких цен российского газа.

За последние полвека длина трубопроводного транспорта России увеличилась с нескольких тысяч километров до 1 млн. По экологическому ущербу он занял лидирующее положение. Если утечки нефти вызывают локальное экологическое опустошение с многолетними последствиями, то утечки газа из газопроводов вызывают глобальное отравление атмосферы парниковым газом метаном. Норма его утечки установлена в 2 %, а фактически утечка составляет 6 %. Возгорание природного газа приводит к мощной эмиссии другого парникового газа – CO<sub>2</sub>.

В Сибири, где концентрация трубопроводов достаточно велика, ежегодно происходят тысячи аварий трубопроводов. Из-за их разгерметизации ежегодно вытекает 10...15 млн т нефти плюс потеря газа. Это значит, что при современном уровне добычи газа порядка 600 млрд м<sup>3</sup> эмиссия метана в атмосферу составляет ежегодно 30 млн м<sup>3</sup>. Финансовые потери от утечек нефти и газа оцениваются в 200...270 млн долл. ежегодно.

Большой ущерб наносят утечки нефти и газа из трубопроводов, проложенных через водоемы – озера, речки, болота. Они убивают все живое.

Несмотря на увеличение объема добычи газа, удельные инвестиции в его добычу растут. Примерно к середине XXI века топливная составляющая электроэнергии на газовых электростанциях увеличится более чем на порядок. Соответственно возрастут и цены на электроэнергию. Финансовые потери от утечек газа оцениваются в 200...270 млн долл. ежегодно.

Таблица 4.6

*Капиталовложения в газовую и ядерную энергетику*

Электрогенерирующая подотрасль	Стоимость электростанций, долл./кВт	Стоимость топливообеспечения, долл./кВт	Всего, долл./кВт
Ядерная энергетика	1 300	400	1 700
Энергетика на газе	500	3700	4 200

Нынешнее состояние трубопроводного хозяйства таково, что затраты на ликвидацию последствий от аварий громадного нефтегазового трубопроводного хозяйства увеличиваются с каждым годом. По существу, все три сферы окружающей природной среды испытывают мощное техногенное воздействие. Происходит множество аварий. Все более очевидной становится опасность разветвленной доставки газа как для бытового, так и индустриального потребления.

Изучение показывает, что экономическим оправданием беспрецедентно большого масштаба добычи газа в России может служить только экспорт с его высокими мировыми ценами, окупающими внутренние за-

траты на добычу и транспорт газа. Здесь-то и кроется большая слабость экономики российского газа. Практически любое его применение даже в традиционных секторах российской экономики может быть осуществлено только на дотационной основе, что и происходит на деле.

Параллельно строительству АЭС необходимо решать и сырьевую проблему атомной энергетики. Сегодня в России вырабатывается 3 тыс. т урана, а расходуется 15 тыс. т, включая экспортные потребности.

*Поэтому будущее за ядерными реакторами на быстрых нейтронах в составе топливного цикла, они уменьшают зависимость от топливных ресурсов и количество радиоактивных отходов. В 2007 году в Федеральном бюджете РФ на создание новых типов ядерных реакторов запланированы расходы в объеме 1 млрд руб.*

*По оценке экспертов, начиная с 2020 года, начнется активное использование МОКС-топлива (уран + плутоний).*

До 2011 года должна быть создана пилотная установка по производству смешанного уран-плутониевого топлива и изготовлена первая загрузка реактора БН-800. Сооружение и пуск блока с реактором БН-800 планируется на Белоярской АЭС за 2006–2011 гг.

Пилотный реактор БН-600 работает в России уже 25 лет. Использование плутония в составе ядерного топлива одновременно решает проблему утилизации оружейного плутония.

Источниками инвестирования строительства АЭС могут быть:  
государство (бюджет),  
частные компании.

Учитывая, что в соответствии с действующим законодательством РФ ядерные объекты не могут быть частной собственностью, инвестиции частных компаний возможны на условиях долгосрочных (не менее 15 лет) контрактов на поставку электроэнергии (согласование на уровне Правительства РФ).

Таблица 4.7

*Структура тарифа на АЭС*

№ п/п	Структура тарифа	% от тарифа	Цент/(кВт·ч)
1	Ядерное топливо	12,5	0,18
2	Эксплуатационные расходы	33,5	0,47
3	Амортизация (реновация)	6,0	0,08
4	Фонды НИОКР и конверсии	3,0	0,04
5	Снятие с эксплуатации	1,0	0,01
6	Инвестиционные фонды и прибыль	21,0	0,30
7	Фонды оплаты труда и социального страхования	13,0	0,18
8	Налоги	10,0	0,04
Всего		100,0	1,40

По оценке «ЦНИИАтоминформ», влияние удорожания сырья на тариф еще меньше: при увеличении стоимости сырья на 1 % тариф возрастет не более чем на 0,02 %, то есть при удвоении цены сырья тариф увеличится не более чем на 3 %, что не отразится на величине прибыли для РАО ЕЭС.

Замещение природного газа при развитии ядерной энергетики.

Повышение экономической эффективности ядерной энергетики связано с реализацией как внутренних резервов (снижение издержек производства), так и внешних (расширение рынков сбыта энергии АЭС).

К внутренним резервам повышения эффективности эксплуатации действующих АЭС относятся:

- 1) повышение КИУМ до уровня передовых стран с наиболее мощной ядерной энергетикой;
- 2) увеличение КПД энергоблоков за счет улучшения их эксплуатационных характеристик;
- 3) сокращение доли расхода энергии на собственные нужды;
- 4) уменьшение удельной численности персонала;
- 5) совершенствование топливных циклов.

Повышение КИУМ на 10 % (с 76 % до 85 %) на действующих АЭС даст дополнительно около 20 млрд кВт·ч в год.

В случае финансирования из бюджета время и место строительства АЭС определяют Министерство промышленности и энергетики РФ и Министерство экономического развития и торговли РФ. При инвестициях частных компаний они определяют желаемое место и сроки строительства АЭС.

Среди потенциальных инвесторов строительства АЭС Росатомом названы:

ОАО «Газпром», компании горной и цветной металлургии («Северсталь», «Русал», «Суал»).

Выгода участия бюджета в строительстве АЭС может быть рассчитана как разница между ценой природного газа сжигаемой ТЭЦ и ценой проданного на экспорт этого же объема газа, но по мировым ценам.

Другим дополнительным фактором в пользу строительства АЭС служит развитие в России газохимического производства, обеспечивающего внутренний и внешний рынок полимерами. Сегодня уже многие нефте- и газохимические производства стран, не имеющих собственного сырья, становятся неконкурентоспособными из-за высоких темпов роста цен на углеводороды.

В долгосрочной перспективе природный газ станет основой для производства синтетического жидкого топлива для транспортных средств.



Несмотря на то, что в Сибири извлекаемые разведанные запасы нефти составляют 77 % запасов Российской Федерации, природного газа – 85 %, угля – 80 %, меди – 70 %, никеля – 68 %, свинца – 85 %, цинка – 77 %, молибдена – 82 %, золота – 41 %, металлов платиновой группы – 91 %, гидроэнергетические ресурсы – 45 %, биологические – более 41 %, ее экономическое развитие недостаточно.

К числу основных факторов, сдерживающих экономическое развитие Сибири относятся: качественное ухудшение сырьевой базы (доля трудноизвлекаемых запасов нефти и газа составляет 55...60 % и продолжает расти); недостаточный уровень развития транспортной инфраструктуры; повышенный расход топливно-энергетических ресурсов на производственные и социальные нужды из-за суровых природно-климатических условий.

В Сибирском регионе имеются все предприятия, обеспечивающие полный ядерный цикл от добычи и переработки уранового сырья и изготовления топливных сборок до утилизации облученного ядерного топлива, что обеспечит и оптимизирует функционирование АЭС.

- Добыча руды и производство уранового концентрата размещается в Краснокаменске (Читинская область).
- Производство гексафторида урана – в городах Ангарске (Иркутская область), Северске (Томская область).
- Производство низкообогащенного урана – в Ангарске, Северске, Зеленогорске (Красноярский край).
- Изготовление топлива для атомных станций осуществляется в Новосибирске. Прорабатываются вопросы производства диоксида урана и МОКС-топлива в Северске.
- «Сжигание» ядерного топлива осуществляется на АЭС города Железногорска (Красноярский край).
- Долговременное хранение отработанного топлива – в Железногорске.

В рамках реализации поставленной президентом задачи доведения к 2030 году удельного веса атомной энергетики России до 25 % одним из наиболее перспективных направлений является строительство атомной электростанции. Это создаст условия для динамического развития всех отраслей экономики Сибири, где сосредоточены производства полного ядерного топливного цикла.

Кроме этого, коллектив ФГУП «СХК» имеет уникальный полувековой опыт эксплуатации ядерных реакторов.

Томский политехнический университет, начиная с 1950 года, ведет целевую подготовку инженеров по базовым специальностям для предприятий всех звеньев ядерного топливного цикла.

В 2008 году, в соответствии с межправительственным соглашением России и США, остановлены два последних атомных реактора.

Остановка реакторов СХК привела к дальнейшему росту дефицита в энергосистеме Сибири на 0,4 ГВт.

По заключению ООО «Межрегиональный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей» в соседних регионах Томской области Сибирского федерального округа (Омской области, Кемеровской области, Алтайском крае, Республике Алтай, Новосибирской области и Томской области) суммарный дефицит мощности по выработке электроэнергии составляет уже сегодня около 2,2 ГВт. При этом более 40 % теплоэлектростанций значительно (до 80 %) выработали свой ресурс и к 2015 году доля таких энергоблоков составит около 75 %.

Предварительный анализ показывает, что суммарный дефицит мощности по выработке электроэнергии в 2005 году составил по Томской области около 500 МВт (– 50 %). Ввод в эксплуатацию АЭС в Томской области позволит увеличить генерирующие мощности на 2 ГВт.

Объем необходимых инвестиций на сооружение 2-блочной Северной АЭС с реакторами ВВЭР-1000 проекта АЭС-2006 составит 134 млрд рублей.

Расчет возможности экспорта электроэнергии Северной АЭС в Китай показал, что окупаемость проекта составит 4,6 года.

Сравнительная оценка перспективных поставщиков оптового энергорынка по удельной себестоимости производства электроэнергии показала конкурентные преимущества Северной АЭС. Это достигается за счет низких издержек на топливо.

Как отметил генеральный директор ФГУП «Сибирский химический комбинат» В. Короткевич, первоначально ввод мощностей Северной АЭС планировался на 2024 год. Теперь же, исходя из планов ввести первый блок станции в 2015 году, работы по строительству могут начаться уже в 2008 году.

«Если определенные группы опять будут выражать протест и собирать подписи против строительства АЭС, то я могу только сожалеть об этом, – сказал генеральный директор СХК. – Другой такой возможности решить проблемы энергетической безопасности региона на ближайшие 60...100 лет не будет. Развивая энергетику без АЭС, нужно быть готовым к сжиганию угля и выбросам в атмосферу тысяч тонн золы, сернистого газа, а также урана.»

В области имеется 9 предприятий электроэнергетики и 191 котельная. Наиболее крупным источником централизованного теплоснабжения г. Томска является ГРЭС-2. Значительная часть основного

оборудования изношена и морально устарела. В северном промузле г. Томска сооружается ТЭЦ-3.

Доклад руководителя работ по созданию сводного тома заведующего отделом прогнозирования, регулирования качества атмосферного воздуха СибНИИГ-МИ г. Новосибирска осветил в целом ситуацию по городу. Всего в Томске около 300 промышленных предприятий. Учтены выбросы 250 предприятий плюс автотранспорт и частный сектор. Выбросы загрязняющих веществ по городу составили 80 200 т в год, из них 87 % выбросы промышленных предприятий, 12,9 % – автотранспорт, 0,1 % – частный сектор. Выбросы загрязняющих веществ (от общего количества выбросов промышленных предприятий) трех предприятий I категории опасности распределились следующим образом: на первом месте ТЭЦ-5 (48,56 %), на втором – ГРЭС-2 (32,52 %), на третьем – «Томскнефтехим» (11,2 %). В целом по городу отмечено превышение допустимых концентраций формальдегида, бензапирена, окислов азота и паров соляной кислоты, в связи с чем ожидается снижение величины разрешенного выброса по данным веществам с 2006 года, что предполагает обязательную разработку мероприятий, направленных на снижение данных выбросов.

Мало кто знает, что в процессе сжигания угля происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды. При сжигании угля радионуклиды (уран, торий, радий, полоний-210, свинец-210 и т. д.) концентрируются в золе. Поэтому ТЭС являются более серьёзным источником внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на прилегающих территориях, чем нормально функционирующие АЭС.

ТЭЦ на угле ( $N_{эл} = 1\ 000$  МВт) в течение года выделяет больше радиоактивности, чем АЭС, а в золе содержится столько урана-235, что достаточно для производства двух ядерных бомб при его выделении.

Мировой выброс урана и тория от сгорания угля составляет около 40 000 т ежегодно.

ТЭЦ на угле России выбрасывают радионуклиды, превышающие 1 000 т в год по урану. Для сравнения предприятиями Росэнергоатома России в 2001 г. в водные объекты выброшено 6,9 т урана, в атмосферу – 2,9 т.

Выбросы урана с угольной золой от ТЭЦ-4 г. Новосибирска превышает выброс урана от завода химических концентратов (изготовление тепловыделяющих элементов для реактора) в 7,5 раза.

Экспериментально установлено, что индивидуальные дозы облучения в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт (эл.) превышают аналогичную дозу вблизи АЭС в 5...10 раз.

Как указывал технический директор Томскэнерго А. Вицке («Красное знамя» от 12 мая 2006 г.), только за зиму 2005–2006 гг. Томск сжег 847,5 млн м<sup>3</sup> газа и 178,8 тыс. т угля. В морозы сжигалось до 4 600 т угля в сутки.

Таблица 4.8

*Сравнение технико-экономических  
и экологических показателей ТЭС и АЭС*

Показатели	ТЭС	АЭС
Затраты на топливообеспечение, млрд руб.	2,1	0,26...0,5
Стоимость сооружения, млрд руб.	25–40	50...72
Средний тариф на шины (затраты на производство) коп/кВт·ч	36,3	19,2
Продолжительность строительства, годы	3...5	4...6
Потребление топлива для ТЭС и АЭС мощностью 1 ГВт(эл.), т/год	$3 \cdot 10^6$	30 (200 т природного урана)
Трудоёмкость энергопроизводства, чел/ГВт·год	1 016	878
Топливные, эксплуатационные, капитальные затраты, %	40 20 40	10 20 70
Отчуждение земли, га	120...160	30...60
Потребление атмосферного кислорода, м/год	$5,5 \cdot 10^9$	–
Вода (безвозвратные потери), млн м <sup>3</sup>	19,2	+
Твёрдые отходы, т/год (м <sup>3</sup> /год)	700 000 (420 000)	Среднеактивные + низкоактивные < 800 (160) отработанное ядерное топливо (высокоактивные) 25...30 (2,5)
Выбросы в атмосферу, т/год		
CO <sub>2</sub>	8 146 800	–
SO <sub>2</sub>	30 660	–
NO <sub>x</sub>	32 412	–
Зола	25 839	–
C <sup>14</sup> (ПДА, Бк/м <sup>3</sup> )		$17,2 \cdot 10^{-7}$ ( $1,1 \cdot 10^2$ )
T <sup>3</sup> (ПДА, Бк/м <sup>3</sup> )		$20,6 \cdot 10^{-6}$ ( $7,6 \cdot 10^3$ )
Активность отходов, поступающих в биосферу, Ки	65,65	$1,8 \cdot 10^{4**}$
Мощность тепловых сбросов в конденсатор, % от общей тепловой мощности	52	67
Мощность тепловых сбросов через трубу в атмосферу, % от общей тепловой мощности	15	0

Показатели	ТЭС	АЭС
Число случаев преждевременной смерти, чел·лет	0,055 (360*)	0,11
Потеря трудоспособности, чел·лет	1,4 (7200*)	2,2
Сокращение продолжительности жизни, чел·лет	2,2 (10 <sup>4</sup> *)	3,3
Раковые заболевания с летальным исходом	+	3,2·10 <sup>-2</sup>
Раковые заболевания без летального исхода	+	7,6·10 <sup>-2</sup>
Генетические повреждения	+	6,4·10 <sup>-3</sup>
Коллективная доза облучения населения, чел·Зв/ГВт·год	4	0,4...1,8

\* Заболевания нерадиационной этиологии.

\*\* Активность поступающих в биосферу отходов от АЭС зависит от учета категории радионуклидов. Например, активность газов в случае выдержки их в газгольдере перед выбросом их в атмосферу уменьшается за счет распада короткоживущих радионуклидов.

Ориентировочные расчеты показали, что по российским ценам 68 долл. за тонну угля и 50 долл. за 1 000 м<sup>3</sup> газа расходы составили примерно 1,7 млрд руб. Но примерно 50 % электроэнергии Томск покупает и вряд ли сумма, затраченная на покупку электроэнергии, будет меньше.

Следовательно, годовые расходы на выработку и покупку электроэнергии составят не менее 3,5 млрд руб. при бюджете г. Томска примерно в 5 млрд руб..

На строительство АЭС будут выделены огромные инвестиционные федеральные деньги. Кроме того, это тысячи рабочих мест при строительстве и эксплуатации станции, льготы по оплате электроэнергии в 30-километровой зоне, энергодостаточность области, меньшие экологические риски, дальнейшее развитие вузов.

Глава Петербурга Валентина Матвиенко заявила: «Для нас главное – построить четыре атомных блока, иначе мы останемся без электроэнергии». И построят, потому что там все «за». Напомним, что в Ленинградской области уже успешно работает Ленинградская АЭС с 4 энергоблоками, мощностью по 1 000 МВт каждый. Недаром Ленинградская АЭС в 2006 году попросила распределить в регион 15 молодых специалистов физико-техников по специальности «Ядерные реакторы и энергетические установки».

И у губернатора Петербурга не возникает никаких сомнений, что уменьшится число желающих обучаться в вузах при работе АЭС с 8 энергоблоками (Северская АЭС будет иметь два энергоблока).

Для примера покажем, что дала Волгодонская АЭС региону.

За 10 лет консервации станция несла убытки до 80 млн долл. в год.

В настоящее время на площадке строительства второго энергоблока подрядными организациями развернуты полномасштабные работы. При этом 90 % объема всех строительно-монтажных работ, по решению руководства Волгодонской АЭС, будут выполняться местными профессиональными строителями. Количество рабочих мест на стройплощадке должно увеличиться в этом году до 3 тыс., в 2006 году – до 5 тыс.

Первый энергоблок Ростовской АЭС был введен в промышленную эксплуатацию в декабре 2001 года. С этого времени атомная станция своей деятельностью существенно влияет на социальное и экономическое развитие не только районов, входящих в 30-километровую зону АЭС, но и в целом Ростовской области. Так, с вводом в эксплуатацию энергоблока № 1 (2002–2005 гг.) налоговые платежи в местный и областной бюджеты возросли в среднем в 4,5 раза, и за 2005 год, в частности, составили около 180 млн рублей. После ввода в эксплуатацию энергоблока № 2 в 2008 году налоговые поступления в бюджет увеличатся в 2 раза.

С пуском 1-го энергоблока непосредственно на атомной станции было образовано 2 320 рабочих мест. Для эксплуатации энергоблока № 2 в 2008 году планируется открыть дополнительно 368 рабочих мест. Средняя заработная плата на АЭС за 7 месяцев 2005 года составляет около 16 тыс. руб. В 2006 году планируется повысить зарплату на 20 %.

Кроме того, в 2004–2005 гг. Волгодонской атомной станцией безвозмездно переданы городу Волгодонску три жилых дома. Приведем основные аргументы строительства АЭС в Томске.

- Демонополизация и диверсификация энергетического производства.
- Увеличение энергетического потенциала.
- Наличие крупного налогоплательщика.
- Снижение экологического и экономического прессинга на регион.
- Снижение социальной напряженности населения (новые рабочие места для энергетиков и работников смежных областей, получение льгот на оплату тепла и электроэнергии, отчисления в процессе строительства на нужды социальной сферы, после введения АЭС в эксплуатацию отчисляется 2 % от себестоимости в специальный инвестиционный фонд на развитие социальной сферы региона.
- Экономия углеводородного топлива, резкое уменьшение транспортных проблем области (независимость от угольщиков и газовой

ков, выделяемые лимиты газа не сжигать, а направить на ТНХК, а собственный газ продавать за пределы области).

- Стабильность в поставке ядерного топлива, т. к. СХК охватывает практически всю цепочку ядерно-топливного цикла.
- Возможность продавать вырабатываемую электроэнергию напрямую, минуя распределительные системы РАО ЕС России и посредников.
- Возможность привлечения инвестиций на строительство из соседних энергодефицитных областей (Новосибирской, Омской, Барнаульской и т. д.) и решение энергетической проблемы в рамках территориального объединения «Сибирское соглашение».

#### **4.3.2. Ресурсы ядерной энергетики [37–47]**

Одним из ключевых факторов, определяющих возможный «облик» мировой ядерно-энергетической системы XXI века, является наличие урановых ресурсов. Наиболее широко используемые оценки содержатся в периодически публикуемой NEA/OECD «Красной книге» – сводке мировых данных по запасам, производству и потребностям в уране. Согласно обзору 2001 г., известные мировые запасы урана по наивысшей рассматриваемой сегодня цене в 130 долл. за килограмм урана оцениваются в 16.2 млн метрических тонн. Если добавить к этой величине уже извлеченные ресурсы – коммерческие запасы, запасы на военных складах, а также уран, извлекаемый при повторном обогащении обедненного урана, можно довести оценку мировых ресурсов урана до 17,1 млн т.

Торий может расширить топливную базу ядерной энергетики в несколько раз, но для этого нужно создать промышленность по его добыче, производству и переработке. Однако, он как потенциальный топливный ресурс, не конкурирует с ураном, а создает дополнительные ресурсные возможности.

Продолжается дискуссия сторонников развития ЯЭ с открытым или замкнутым ядерным топливным циклом.

**Открытый цикл.** Использование тепловых легководных реакторов типа ЛВР в открытом топливном цикле по умеренному сценарию приводит к высокому потреблению природного урана. Так, при мощности системы ЯЭ – 12000 ГВт (эл.) в 2050 г., годовая добыча урана должна быть доведена более чем до 300 тыс. т, а интегральное потребление урана составит более 10 млн т. К 2100 г., если мощность будет составлять 5 000 ГВт (эл.), годовое потребление урана составит примерно 800 тыс. т, а интегральное потребление урана превысит 43 млн т. Мощность разделительного производства к 2050 г. должна достичь примерно 450 млн ЕРР (единица разделительной работы) в год, а к 2100 г. – примерно 1 200 млн ЕРР в год. Сокращение в два раза темпа развития по-

зволит реализовать ядерно-энергетическую систему с интегральным потреблением урана до 2100 г. в 17 млн т. Уровень ниже 1000 ГВт (эл.) к 2050 г. оставляет ядерную энергетику скорее технологическим заделом, страхующим возможные ограничения в развитии других энергетических технологий.

**Замкнутый цикл без расширенного (КВ ~1.06) воспроизводства плутония.** Замыкание топливного цикла с выделением плутония из тепловых реакторов и использованием его для начальной загрузки быстрых реакторов безрасширенного воспроизводства (ИВ) также не позволяет выйти на уровни мощности, при использовании 14 млн т природного урана. В этом случае мощность тепловых реакторов, использующих урановое топливо, достигает к 2050 г. 1 200 ГВт (эл.) и далее снижается до нуля к 2100 г. Мощность всей системы ЯЭ достигает максимума 2 300 ГВт (эл.) примерно к 2060 г., снижается до 1 600 ГВт (эл.) к 2100 г. (быстрые реакторы (БР) вводятся только на плутонии). В конце периода мощность ЯЭ начинает медленно расти за счет небольшой избыточной наработки плутония в БР. Максимальная добыча урана, равная 200 тыс. т в год, достигается к 2040 г., максимальная мощность разделительного производства в 290 млн ЕРР достигается также к 2040 г.

**Замкнутый цикл с расширенным (КВ > 1.6) воспроизводством плутония.** Введение в систему ЯЭ быстрых реакторов с расширенным воспроизводством (РВ) плутония позволяет обеспечить производство электроэнергии, не выходя за пределы 15 млн т по добыче природного урана. Использование плутония начинается с 2020 г. в виде МОХ-топлива в улучшенных тепловых реакторах (КВ ~0.9), быстрые реакторы с РВ плутония вводятся с 2040 г. Добыча природного урана составляет 14 млн т при максимуме ежегодной добычи 2 000 тыс. т в год в 2040 г. и будет прекращена, так же как и работа по разделению урана, в 2100 г. К 2040 г. будет также достигнута максимальная производительность работы разделения на уровне 200 млн ЕРР в год. Доля БР составит примерно 60 % к 2100 г. Мощность предприятий по переработке облученного топлива примерно равна 50 тыс. т и 130 тыс. т в год, соответственно, в 2050 г. и 2100 г. Количество рециклируемого плутония в эти же годы составит 1 500 т и 7 500 т в год, соответственно.

### *Глобальная ядерно-энергетическая система*

Как следует из сказанного, двухкомпонентная структура ядерно-энергетической системы (тепловые реакторы + быстрые реакторы с расширенным воспроизводством) позволяет обеспечить не только умеренное развитие ядерной энергетики с уровнем производства электричества 2 000 ГВт (эл.) в 2050 г. и 5 000 ГВт (эл.) в 2100 г. при реали-



стичных, по сегодняшним оценкам, расходах урана, но и реализовать так называемый «агрессивный» сценарий. В нем предусматривается дополнительное производство электричества, в том числе с внедрением реакторов малой и средней мощности, а также использование реакторов для производства водорода, технологического и бытового тепла и пресной воды. В этом случае мощность ядерной энергетики в пересчете на электричество может составить ~10 000 ГВт (эл.) к 2100 г.

Одним из основных условий реализации рассмотренных сценариев развития является внедрение быстрых реакторов с расширенным воспроизводством плутония (КВ ~1.6) и замкнутого топливного цикла. Задержка срока начала ввода быстрых реакторов такого типа (КВ ~1.6) на 20 лет при ограничении ресурса природного урана величиной 16 млн т приводит к уменьшению мощности ядерной энергетики к концу столетия в полтора раза по сравнению с «агрессивным» сценарием.

**Малые мощности.** Развивающиеся страны, которые претендуют на использование ядерной энергии, при отсутствии мощных электрических сетей будут нуждаться в реакторах малой мощности. Такие же потребности возникают и в традиционно ядерных странах для снабжения энергией удаленных регионов с малой плотностью населения. Максимальная оценка возможного роста атомной энергетики и ее роли в энергетике мира выполнена исходя из ресурса 26 млн т природного урана, с вводом быстрых реакторов с расширенным воспроизводством плутония (КВ ~1.6) с 2030 г. В этом случае ядерная энергетика может производить примерно 70 % электричества к 2050 г. и 85 % к 2100 г. Эта программа практически стабилизирует добычу органического топлива для производства электричества на современном уровне. Экономия газа в производстве электричества позволяет использовать его вместо нефти, добыча которой сокращается. И наконец, эта программа развития ядерной энергетики позволяет стабилизировать эмиссию CO<sub>2</sub> на современном уровне.

**Развитие ЯЭ и окружающая среда.** При сложившейся структуре ЯТЦ в реакторах на тепловых нейтронах при производстве 1 ГВт/год электроэнергии сжигается 1 т урана, добывается 200 т урана и, при содержании его в руде 0,1 %, перерабатывается 200 тыс. т руды. При такой структуре кратковременный риск связан с работой АЭС и процедурами по переработке топлива (примерно 4...10 чел.·Зв на 1 ГВт/год полученной электроэнергии). Долговременный риск возникает при добыче урана за счет поступления радона в атмосферу: разброс, по разным оценкам, составляет примерно от 10 до 150...200 чел.·Зв на 1 ГВт/год. При замыкании ЯТЦ и использовании в системе ЯЭ реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством, способных использовать эффективно более 50 % добытого урана, долговременный риск

снижается до нескольких чел.Зв на каждый ГВт/год произведенной электроэнергии за счет снижения добычи урана.

Существуют другие точки зрения.

Общий объем обнаруженных запасов урана, расходы, на добычу которого не превышают 130 долл. за 1 кг, составляет примерно 4,7 млн т. Этих запасов хватит на 85 лет работы атомных электростанций мира.

Предположительно, общий объем запасов урана в мире значительно больше и составляет примерно 35 млн т.

По данным министерства энергетики США, залежи урана есть, как минимум, в 43 странах мира. Крупнейшими запасами обладают Австралия (примерно 27 % мировых запасов, при этом в Австралии нет ни одной АЭС), Казахстан (17 %), Канада (15 %), ЮАР (11 %), Намибия (8 %), Бразилия (7 %), Россия (5 %), США и Узбекистан (по 4 %).

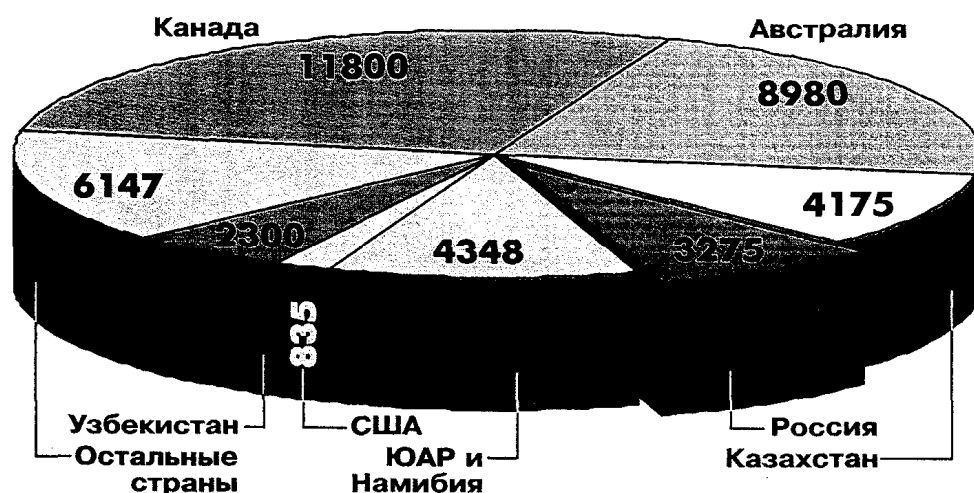


Рис. 4.2. Производство урана в странах мира в 2005 г., т

Как сообщает Всемирная ядерная ассоциация, в 2005 году наибольшее количество урана произвели Канада (примерно 29 % от общемировой добычи), Австралия (21 %), Казахстан, Нигер, Россия, Намибия, Узбекистан, США, Украина и ЮАР.

Мировые потребности в уране возрастут от 66 500 т в 2004 г. до 82 000 т в 2025 г. (при мощности АЭС Мира – 438 ГВт).

Производство урана за счет добычи из недр в 2005 г. составил ~41 000 т в год.

Дефицит производства урана в течение всех этих лет покрывался, в основном, за счет складских запасов и экспорта из стран СНГ, и в первую очередь – из России. Неконтролируемый экспорт урана из России являлся, по-видимому, одной из главных причин, определяющих парадоксально низкий уровень мировых цен на уран в 1998 году.

В настоящее время мировая рыночная конъюнктура находится на переломе, обусловленном тем очевидным обстоятельством, что к 2020 году существенно истощатся разведанные запасы урана в главных странах-производителях – Канаде и Австралии.

С 2003 г. цены на уран медленно поползли вверх.

Таким образом, при обоснованных сегодняшним уровнем оценках ресурсных ограничений по урану, реализация умеренных (5 000 ГВт (эл.)), а тем более «агрессивных» (10 000 ГВт (эл.)) сценариев ядерно-энергетического развития ставит задачу развития многокомпонентной структуры ядерно-энергетической системы с расширенным воспроизводством и замкнутым топливным циклом.

### *Поставка ядерных материалов для АЭС в США*

В настоящее время на долю российских ядерных материалов (ЯМ), поставляемых в рамках Соглашения ВОУ-НОУ, приходится 50 % электроэнергии, вырабатываемой на АЭС в США. Поскольку американские атомные станции производят около 20 % всей электроэнергии в стране, то, соответственно, потребности 10 % электроэнергетики США обеспечиваются за счет ЯМ из России. Всего по состоянию на 31 декабря 2006 г. в рамках Соглашения ВОУ-НОУ в США было поставлено 8,540 метрических тонн низкообогащенного урана, что эквивалентно потребностям 9 энергоблоков типа ВВЭР-1000 для 40-летней эксплуатации. По данным МИД РФ, ежегодный подход от реализации контракта составляет порядка 700 млн долл.

В России сохраняется значительный дефицит добычи урана. В настоящее время потребление урана в России составляет примерно 10 тыс. т ежегодно, а добыча – 3,2 тыс. т, итого дефицит – около 7 тыс. т. В соответствии с программой развития атомной энергетики потребность в уране составит около 15 тыс. т, а дефицит – 12 тыс. т. Согласно имеющимся прогнозам, Россия только к 2015–2020 гг. сможет выйти на такой уровень добычи, который бы на 100 % покрывал отечественные нужды. Это заставляет руководство Росатома при поставках урана за рубеж оглядываться на объемы внутреннего потребления уранового сырья.

Представители США многократно подчеркивали свою заинтересованность в продолжении программы и появлении проекта «Мегатонны в мегаватты»-2. Однако Россия продлевать Соглашение ВОУ-НОУ не заинтересована. При этом руководитель Росатома С.В. Кириенко уже обозначил, что Россия хотела бы сохранить объем поставок урана в США, но осуществляться они должны по коммерческим контрактам и на основании рыночных цен, а не через монополиста-посредника – корпорацию USEC, как это происходит в настоящее время.

### *Оценка сырьевой базы урана в России*

Сырьевая база всех зарубежных производителей качественно значительно превосходит отечественную. Так, в Канаде, Австралии, Намибии, Нигерии добыча горным способом осуществляется преимущественно карьерами (в России – исключительно шахтным способом). При этом содержание урана на месторождениях в Канаде – более 1 %, в Австралии – 0,3...0,4 %, а в России – 0,1...0,2 %. В Казахстане и Узбекистане добыча осуществляется исключительно способом скважинного подземного выщелачивания на крупных месторождениях с высокой продуктивностью и в условиях экономически освоенных районов. В России сегодня нет урановых месторождений с высококачественными рудами под горный способ добычи, а месторождения, пригодные для подземного выщелачивания, только подготавливаются к освоению, их масштабы значительно меньше, продуктивность ниже, инфраструктура рудных районов не развита.

Россия занимает 7-е место в мире по разведанным запасам урана в недрах (около 180 тыс. т). Первые места занимают: Австралия (более 894 тыс. т), Казахстан (681 тыс. т) и Канада (507 тыс. т).

По производству урана Россия занимает 5 место в мире, при этом объем производства урана в стране составляет не более 30 % фактического внутреннего потребления, а объем ежегодного экспорта природного урана из России более чем в 5 раз превышает фактическую добычу из недр. Таким образом, основным источником российского внутреннего потребления и экспортных поставок урана являются государственные складские запасы. Если к моменту их исчерпания в России не будут развернуты новые мощности по добыче урана, обеспечивающие покрытие внутренней потребности, страна может оказаться перед необходимостью импорта этого энергоносителя, причем в условиях сохраняющегося дефицита мирового производства и выросших цен.

Годовая потребность атомной отрасли России в уране с учетом выполнения международных обязательств по обеспечению АЭС, построенных за рубежом по российским проектам, составляет 19,3 тыс. т урана при уровне добычи порядка 3,3 тыс. т в год.

Оно обеспечивается единственным уранодобывающим предприятием – АО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (АО «ППГХО») в Читинской области. Около 70 % потребности страны в природном уране удовлетворяется за счет складских резервов, созданных в бывшем Советском Союзе. Исчерпание этих резервов следует ожидать к 2010 году.

За короткое время в стране разработана и утверждена федеральная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 гг. и на перспективу до 2015 г.». Предполагаемый рост ядерной энергетики – почти в три раза к 2030 г. – несмотря на то, что выглядит агрессивным, является минимально необходимым.

В соответствии с Генеральной схемой размещения объектов атомной России, принятой в апреле 2007 г., за период 2009–2020 гг. будет введено 27 энергоблоков установленной мощности 30 330 МВт. (В 2006 г. в России работал 31 энергоблок,  $N = 23\,242$  МВт; в мире – 442 энергоблока,  $N = 35\,6746$  МВт.)

Рассмотрим потенциальный ресурс ядерной энергетики на примере российской программы: ***65 ГВт (эл.) установленных мощностей к 2030 году, из которых 16 ГВт (эл.) – на быстрых реакторах.***

Если ориентироваться только на тепловые реакторы, то 65 ГВт мощностей, построенных до 2030 года, израсходуют за свой жизненный цикл около 600 тыс. т природного урана, сжигая преимущественно природную делящуюся компоненту – уран-235. Таким образом, любое развитие после 2030 года должно будет обеспечиваться новыми источниками природного урана либо за счет новой сырьевой базы России, либо за счет импорта.

Именно по этой причине предполагается развитие быстрых реакторов. В этом случае сырьевым ресурсом становится уже уран-238 с использованием быстрых реакторов, стартовые загрузки которых формируются из плутония, выделенного из ОЯТ легководных реакторов. В зависимости от интенсивности расширенного воспроизводства топлива максимальная мощность ядерной энергетики к концу века может составить около 550 ГВт в электрическом эквиваленте. Заметим, что для получения такого же количества электроэнергии потребовалось бы около 860 млн т нефтяного эквивалента природных ресурсов (нефть, газ, уголь). Сегодня все внутреннее потребление этих ресурсов (включая и неэлектрическое) в России составляет около 600 млн т нефтяного эквивалента.

Важным является тот факт, что энергетическим ресурсом является уран-238, и уже добытое его количество будет (из 600 тыс. т природного урана) способно обеспечить мощности ядерной энергетики на срок более 1000 лет. Это означает, что ядерная энергетика способна практически полностью удовлетворить энергетические потребности на неограниченный промежуток времени.

На заседании коллегии Роснедра 28 марта 2007 г. зам. руководителя Федерального агентства по недропользованию сообщил, что разведанные запасы урана на территории России составляют около 815 тыс. т. Но вряд ли эти ресурсы можно будет использовать в ближайшие несколько десятилетий.

Таблица 4.9

## Различные виды энергии в сравнительной статистике

Показатель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Гидроэнергия	Ветровая энергия	Солнечная энергия
Вклад различных видов энергоносителей в производство электроэнергии, %:							
Мир	40	10	14	~17	~17	~1	~1
Страны, богатые гидроресурсами, %							
Канада	15	3	5,1	12,9	61	~3	~3
Швеция	1,1	2	–	43,9	51	<1	<1
Швейцария	–	5	–	36,0	59	–	–
Страны, богатые углём, %							
США	49,6	3	13	20,4	8	~3	~3
Германия	54,5	2	7	30,5	4	<1	<1
Великобритания	52	6,6	11	24,4	2	2	2
Китай	74	6,9	–	1,1	18	–	–
Россия	16	8	43	16	17	<0,03	<0,001
Страны, бедные природными энергоресурсами, %							
Франция	6	2	2	77,1	14	–	–
Республика Корея	18	28,7	10	39,3	4	–	–
Тайвань	34	30,4	5	21,6	9	–	–
Япония	9,7	21	22	34,3	9	~2	~2
Западно-Сибирский регион	46	5	48	–	–	–	–

Окончание табл. 4.9

Показатель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Гидроэнергия	Ветровая энергия	Солнечная энергия
Общие подсчитанные резервы + потенциальные ресурсы, $\text{Э}_{\text{Дж}} (1 \text{ Э}_{\text{Дж}} = 10^{18} \text{ Дж})$	18 000 (11 000)	3 500 (1 400)	2 300 (11 000)		126 в год	84 в год	75 в год
При открытии ядерном топливном цикле (ОЯТЦ)				2 000 (8 000)			
При замкнутом ядерном топливном цикле (ЗЯТЦ)				300 000 (600 000)			
Продолжительность надёжного энергоснабжения, лет	250	45	60	55(ОЯТЦ) 3 300(ЗЯТЦ)	–	–	–
Занимаемая площадь, необходимая для производства энергии. Отчуждение земли, $\text{м}^2/\text{МВт}$	2 400	870	1 500	630	265 000	170 000	100 000
Выделение $\text{CO}_2$ (парниковый эффект), $\text{г}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$	251/10	192/6	180/33	0/7	0/6	0/20	0/52
Выделение $\text{S}_{\text{ок}}$ , $\text{мг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$	288/38	26/3,5	0/7	0/32	–	0/15	0/104
Выбросы $\text{NO}_x$ , $\text{мг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$	516/44	242/21	208/69	0/70	–	0/19	0/99
Удельные капитальные вложения, $\text{долл.}/\text{кВт}$	1 200... 1 400	1 000... 1 300	1 200... 1 500	1 300... 2 000	2 000	1 800	2 500
Себестоимость электроэнергии, $\text{цент}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$	2,5...4,0	~2,6...3,0	~2,6...3,0	~2,2...3,0	1,2	4,8...7,0	12,0
Трудоёмкость энергопроизводства, $\text{чел.}/(\text{ТВт}\cdot\text{ч в год})$	116	~120	~130	100	–	542	248

Таблица 4.10

## Некоторые показатели в странах, развивающих ядерную энергетику

Показатель	Франция	Швеция	Япония	Германия	Великобритания	США	Россия
Доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии, %, электрическая мощность АЭС, МВт,	43,9	34,3	24,4			24,4	16
	77,1	32,0	26,3	30,5		22,0	12,2
Продолжительность жизни, муж/жен	59 033	38 029	11 909	22 637		98 784	20 774
	73/81	76/82	72/78	72/79		72/79	59/71
Детская смертность на 1 000 родившихся	3,8	4,5	7,4	7,1		8,9	18,0
	4,1	3,2	2,5	-1,0		7,7	-1,5
Естественный прирост населения на 1 000 чел.	8 062	7 167	5 560	6 630		12 800	7 268
	1 950	1 990	1 685	1 750		2 275	200
Производство электроэнергии на душу населения, кВт·ч	525	575	525	515		650	80
	107,1	100,7	48,8	63,5		10,5	1,2
Средняя зарплата в долл., 2000 г.	1,03	0,3	0,2	0,28		0,4	0,13
	100	327	224	224		27	9
Средняя пенсия в долл., 2000 г.	19	19	224	224		27	9
	1,16	1,16	0,2	0,28		0,4	0,13
Мощность, кВт/1 км <sup>2</sup>	100	327	224	224		27	9
	100	327	224	224		27	9



Повышение цен на уран, приближающихся к отметке 300 долл. за 1 кг, не будет иметь негативных последствий для реализации масштабной программы развития ядерной энергетики в России и решения задачи фактического удвоения ее доли в энергобалансе страны. Такую точку зрения высказал в интервью глава Росатома Сергей Кириенко, по мнению которого в дальнейшем цены на уран «будут еще выше».

«На сегодняшний день Россия стоит на третьем месте по запасам природного урана, – сказал Кириенко. – И рост цены на природный уран позитивно сказывается на целом ряде элементов нашей программы». По его словам, себестоимость добычи урана в России составляет от 60 до 80...90 долл/кг в самых труднодоступных районах. «Пока уран стоил 40 долл., добывать наш уран было нерентабельно. Однако если уран стоит 150...200 долл/кг, то это означает, что все наши месторождения стали вполне рентабельными и мы в состоянии гарантированно обеспечить собственную программу развития ядерной энергетики отечественным ураном», – подчеркнул глава Росатома.

Повышение цен на уран, которое с начала года превысило 50 %, «не так сильно сказывается на цене электроэнергии», как подорожание нефти и газа, отметил С.В. Кириенко. «В отличие от источников электроэнергии на нефти или на газе, где их стоимость является важнейшей составляющей цены, доля природного урана в себестоимости электроэнергии, вырабатываемой АЭС, составляет порядка 5 %. Поэтому атомная электроэнергия вполне конкурентоспособна», – заключил он.

Несколько слов о ресурсах плутония для изготовления МОКС-топлива.

Общее количество плутония оценивается в 2005 г. на уровне 1 300 т, из которых 2/3 в ОЯТ. Ежегодно запас плутония возрастает на 50 т. Количество оружейного плутония в мире – 240 т (Россия – 150 т, США – 100 т, Франция и Китай – по 10 т). В России накоплено более 14 тыс. т ОЯТ. До 2020 г. количество ОЯТ может увеличиться в 2 раза. Переработка ОЯТ в России ведется на заводе РТ-1 (ПО «Маяк»), проектная мощность 400 т тяжелого металла в год. К 2010 г. общее количество ОЯТ в мире составит 340 000 т тяжелого металла.

## 5. ТЕРРОРИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

*Под терроризмом подразумевается преднамеренное, политически мотивированное насилие, совершенное в мирное время лицом или группой лиц, как правило, с целью оказания воздействия на государство, общество или общественное мнение [5].*

Российское законодательство дает более детальное определение: «Терроризм – это насилие или угроза его применения в отношении физических лиц или организаций, а также уничтожение (повреждение) или угроза уничтожения (повреждения) имущества или других материальных объектов, создающие опасность гибели людей, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных общественно опасных последствий, осуществляемые в целях нарушения общественной безопасности, устрашения населения или оказания воздействия на принятие органами власти решений, выгодных террористам, или удовлетворения их неправомерных имущественных и (или) иных интересов; посягательство на жизнь государственного и общественного деятеля, совершенное в целях прекращения его государственной или иной политической деятельности либо из мести за такую деятельность; нападение на представителя иностранного государства или сотрудника международной организации, пользующихся международной защитой, а равно и на служебные помещения либо транспортные средства лиц, пользующихся международной защитой, если это деяние совершено в целях провокации войны или осложнения международных отношений».

Под *террористической деятельностью* понимается деятельность, включающая в себя:

- 1) организацию, планирование, подготовку и реализацию террористической акции;
- 2) подстрекательство к террористической акции, насилию над физическими лицами или организациями, уничтожению материальных объектов в террористических целях;
- 3) организацию незаконного вооруженного формирования, преступного сообщества (преступной организации), организованной группы для совершения террористической акции, а равно и участие в такой акции;
- 4) вербовку, вооружение, обучение и использование террористов;

- 5) финансирование заведомо террористической организации или террористической группы или иное содействие им.

Под *международной террористической деятельностью* понимается такая террористическая деятельность, которая осуществляется:

- 1) террористом или террористической организацией на территории более чем одного государства или наносит ущерб интересам более чем одного государства;
- 2) гражданами одного государства в отношении граждан другого государства или на территории другого государства;
- 3) в случае, когда как террорист, так и жертва терроризма являются гражданами одного и того же государства или разных государств, но преступление совершено за пределами территорий этих государств.

Таблица 6.1

*Статистика терактов в России (1994–2004 гг.)*

Способ проведения терактов	Количество терактов	Количество погибших	Количество раненых
Захват автобусов с заложниками	15	35	74
Захват вертолетов с заложниками	2	5	9
Захват медучреждений с заложниками	4	289	160
Взрывы в метро	8	93	275
Взрывы в жилых домах (гостиницах)	17	625	920
Взрывы в поездах	8	65	230
Взрывы на ж/д и автовокзалах	11	24	138
Взрывы на улицах	10	84	387
Взрывы в магазинах, кафе, торгцентрах	5	5	67
Взрывы на рынках	11	116	450
Взрывы в подземных переходах	3	33	318
Захват самолетов с заложниками	2	2	7
Взрывы в зданиях органов власти (или возле них)	9	215	306
Взрывы на автобусных остановках	11	14	73
Захват культурных центров с заложниками	1	129	138
Взрывы во время массовых мероприятий	5	51	303
Атаки госучреждений смертниками на автомашинах, начиненных взрывчаткой	3	66	156
Взрывы в самолетах с пассажирами	2	90	–
Захват учебных учреждений с заложниками	1	333	385

Терроризм с использованием оружия массового уничтожения (ОМУ) является одной из разновидностей терроризма.

Возможности совершения террористами актов химического, биологического, ядерного, радиационного, информационно-экологического терроризма различны.

Наибольший потенциал с точки зрения использования террористами имеет химическое оружие в силу известных боевых свойств отравляющих веществ.

Применение биологического оружия оценивается как несколько менее вероятное, чем химическое, хотя более вероятное по сравнению с ядерным оружием и радиоактивными материалами.

Под террористическим актом понимается непосредственное совершение преступления террористического характера в форме взрыва, поджога, применения или угрозы применения ЯВУ, радиоактивных, химических, биологических, взрывчатых, сильнодействующих токсических веществ; уничтожения, повреждения или захвата транспортных средств или других объектов; посягательства на жизнь государственного или общественного деятеля, представителя национальных, этнических, религиозных или иных групп населения; захвата заложников, похищения человека; создания опасности причинения вреда жизни, здоровью или имуществу неопределенного круга лиц путем создания условий для аварий и катастроф техногенного характера либо реальной угрозы создания такой опасности, распространения угроз в любой форме и любыми средствами, иных действий, создающих опасность гибели людей, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных общественно опасных последствий.

Приведем примеры известных в последнее время террористических актов.

- Атаки американских посольств в Кении и Танзании в августе 1998 г.
- Взрывы жилых домов в Москве и Волгодонске в сентябре 1999 г.
- Подрыв террористами-смертниками американского эсминца «Колумбус» 12 октября 2000 г.
- Таран с помощью угнанных авиалайнеров зданий Всемирного торгового центра в Нью-Йорке и Пентагона в Вашингтоне 11 сентября 2001 г.
- Распространение по почте возбудителя сибирской язвы в США в 2001 г.
- Теракт в Каспийске 9 мая 2002 г.
- Захват заложников во время спектакля Норд-Ост в 2002 г.
- 24 августа 2004 г. вследствие террористических акций произошло 2 чрезвычайных происшествия с самолетами Ту-154 и Ту-134, в которых погибли 90 человек.

- Захват террористами школы в Беслане в сентябре 2004 г.

Современный терроризм отличается расширением географии и интернационализацией международного терроризма.

Далее, это жестокость и целенаправленность. Террористы XIX – начала XX вв. были одиночками, которые стреляли, прежде всего, в политических лидеров. Сегодня объекты террора совершенно другие. Это мирные жители, дети, объекты культуры, места массового скопления людей, культовые здания. И у современного терроризма другая цель – запугать все население.

Активно используются смертники. Причем, если брать 2003–2005 гг., то количество так называемых *шахидов* возросло почти в 20 раз. Урон в результате использования смертников – самый большой. Достаточно сказать, что всего лишь 5 % всех терактов, совершенных с применением взрывчатки, осуществили шахиды, но количество жертв в этих случаях зашкаливает за 70 %. Причем противостоять попытке теракта с использованием камикадзе, шахида очень сложно.

Следует выделить и такую особенность современного терроризма, как попытки завладеть и, без сомнения, применить либо ОМУ, либо его компоненты. К сожалению, такая информация не просто имеется у спецслужб, но и, как известно, были уже конкретные акты применения, по крайней мере, химических отравляющих веществ. Сегодня нельзя говорить о наличии у террористов ядерного оружия. Но говорить о *грязной бомбе*, которая может быть сделана или куплена террористами, – это совершенно реально.

Еще один из видов современного терроризма – кибертерроризм. Многие эксперты считают, что ущерб от атак посредством нападения на телекоммуникационные системы, системы управления по своим последствиям соизмерим с применением ОМУ.

Террористы подстраиваются под тенденции развития мирового сообщества, и даже появились такие экзотические термины, как экотерроризм, агротерроризм и другие. Здесь, с одной стороны, террористы занимаются спекуляциями, а с другой стороны – играют на тех проблемах, которые волнуют все человечество (например, экологические проблемы), используя в качестве шантажа угрозы взрывов нефтехимических объектов, трубопроводов, продуктопроводов и других химически опасных объектов.

Эти угрозы глобальны. Отсюда и необходимость объединения усилий всего мира по противостоянию современному *террористическому интернационалу*. И руководство Российской Федерации это прекрасно осознает и работает в этом направлении совместно с другими государствами.

Россия активно участвует в антитеррористической коалиции. Мы считаем, что ведущая роль в борьбе с международным терроризмом должна принадлежать ООН. Вместе с тем Россия состоит и в регио-

нальных объединениях антитеррористической направленности, таких, как Антитеррористический центр стран СНГ, Шанхайская организация сотрудничества (ШОС), Организация Договора о коллективной безопасности (ОДКБ).

Россия поддерживает двусторонние отношения практически со всеми странами мира, которые реально испытали на себе, что такое терроризм. Прежде всего, это государства, которые расположены на постсоветском пространстве. Помимо них, это США, Израиль, Германия, Франция, Великобритания. Именно в России проведено пять самых крупных конференций специальных служб и правоохранительных органов различных государств мира, посвященных именно этой проблеме. Последнее такое совещание состоялось в середине июня 2006 г. в Казани, в нем участвовали представители 75 спецслужб из 51 страны мира, а также делегации Антитеррористического центра СНГ и Совета безопасности ООН.

Терроризм беспощаден. Государства должны отвечать террористам тем же. Терроризм требует уступок, требует политических компромиссов, на которые (как показывает и горький опыт России) ни в коем случае идти нельзя. Переговоры с террористами возможны и необходимы только в одном случае: облегчить участь заложников и спасти их. Любые другие уступки только стимулируют развитие терроризма и вызывают еще более жестокие и наглые акции с их стороны.

Рассмотрим проявления основных видов и тенденций современного терроризма исламистского толка на примере, во-первых, теракта июля 2005 г. в Лондоне, как акта транснационального джихадистского терроризма в его посталькаидовском виде, а во-вторых, терроризма как одной из основных тактик повстанческого движения в Ираке. Именно Ирак стал зоной наиболее активного взаимодействия транснациональных джихадистских сетей с локальными группировками, сочетающими исламский экстремизм с местным национализмом. В-третьих, если в Ираке повстанческие группировки смешанной националистически-исламистской ориентации сформировались лишь к середине 2000-х гг., то для другого очага региональной напряженности – затяжного палестино-израильского и, шире, арабо-израильского конфликта, вылившегося в 2006 г. в полномасштабную войну между Израилем и Ливаном, – сочетание исламизма с радикальным национализмом стало уже традиционным. Оно наиболее отчетливо воплотилось в деятельности двух крупнейших военизированных религиозно-социально-политических движений – палестинской «Хамас» и ливанской «Хизбаллы». Хотя деятельность обеих организаций выходит далеко за рамки терроризма, их нельзя обойти вниманием – не в последнюю очередь в связи с резким обострением ближневосточного конфликта в июле–августе 2006 г.

Главной особенностью террористической активности в мире в последние два года стал ее беспрецедентный рост.

Так, общее число терактов в 2005 г. почти достигло пяти тысяч (точнее говоря, 4 924), что в полтора раза превышает число терактов в предыдущие пиковые годы – 2004 г. (2 646) и 2002 г. (2 649) – и является абсолютным рекордом в истории терроризма.

По общему числу терактов за 2005 г. с большим отрывом лидировали два региона – *Ближний Восток и страны Персидского залива* (3 035 терактов, т. е. 62 % всех терактов в мире) и *Южная Азия, включая Афганистан* (1 238 терактов, или 25 % от их общего числа). Во всех остальных регионах число терактов было значительно ниже (от семи, в Восточной и Центральной Азии, до 247 – в Западной Европе).

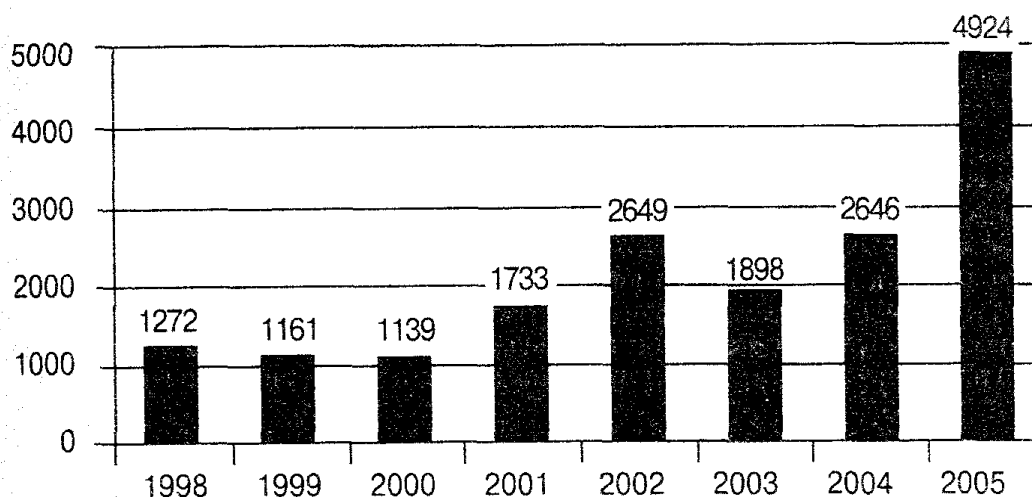


Рис. 6.1. Число терактов в мире (1998–2005 гг.)

Наряду с числом терактов, вторым важнейшим показателем террористической активности является число ее жертв. Только за 2005 г. в терактах в мире погибло более восьми тысяч человек (8 161). Это абсолютно рекордное число значительно превышает показатели предыдущего, 2004 г. (5 068 погибших) и почти в два раза показатели за 2001 г. (4 571 жертв), когда были совершены наиболее смертоносные в истории человечества теракты 11 сентября 2001 г. В 2005 г. два региона с наибольшим числом терактов лидировали со значительным отрывом от остальных и по общему числу жертв. Только на Ближнем Востоке и в странах Персидского залива от рук террористов погибли 6 469 человек (79 % всех убитых в терактах), а в Южной Азии – 1 159 человек (14 % от общего числа убитых). Во всех остальных регионах число жертв терроризма было гораздо меньше (187 человек в Африке, 141 человек в Латинской Америке и т. д.).

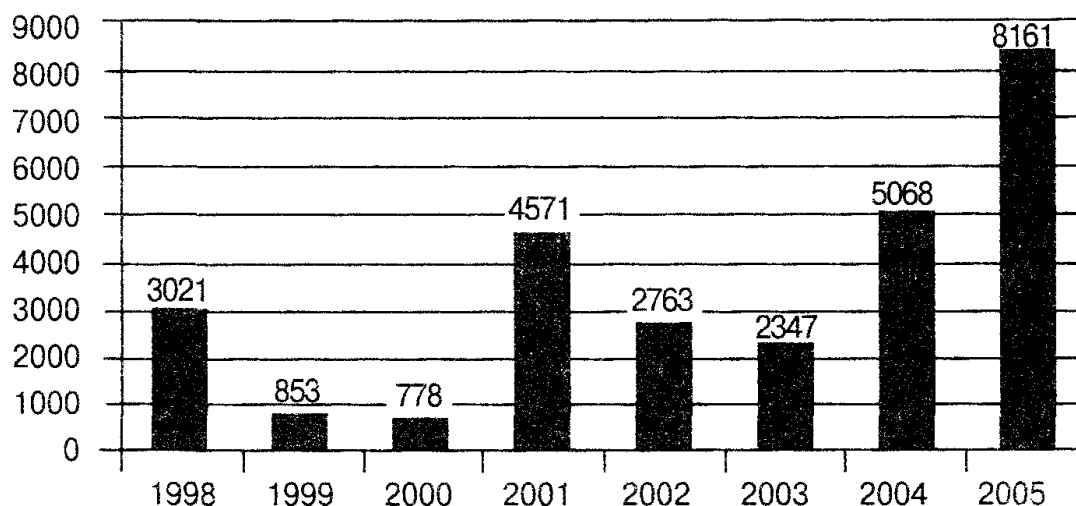


Рис. 6.2. Число погибших в терактах (1998–2005 гг.)

В течение последних восьми лет Ближний Восток и Южная Азия отнюдь не всегда лидировали по числу терактов и жертв терроризма (см. табл. 1). Хотя в 1998–2005 гг. Ближний Восток ежегодно входил в тройку регионов – лидеров по числу терактов, первое место по этому показателю он занял лишь в 2004–2005 гг. Южная Азия (включая Афганистан) вошла в тройку лидеров лишь с 2001 г. и лидировала по числу терактов в 2002 г. и 2003 г. По числу погибших в терактах регион Ближнего Востока и Персидского залива (включая Ирак) лидировал только начиная с 2003 г., тогда как в 1998–1999 гг. он занимал лишь третье место по этому показателю, а в 2000–2001 гг., т. е. непосредственно накануне терактов 11 сентября, вообще занимал лишь пятое место в мире по числу погибших от рук террористов. Южная Азия на протяжении того же периода ежегодно входила в тройку лидеров по числу жертв, но первое место по этому показателю занимала лишь в 2000 г. и 2002 г.

Январь 1993 г. – террористический акт с целью разрушения крупного гидроузла на реке Устина в республике Хорватия. Благодаря грамотным и быстрым действиям аварийных бригад был спасен от затопления густонаселенный район с 60 тыс. жителей.

В настоящее время с изменением организационной структуры терроризма произошло изменение его стратегии и тактики.

Вместо захвата заложников, саботажных действий с целью принуждения правительств к выполнению требований террористов используются действия, приводящие к значительным жертвам и разрушениям.

Указанные трансформации терроризма объясняют появление «скрытого терроризма», когда внешне террористические акции выглядят как природные и техногенные чрезвычайные ситуации, или несчастные случаи, не имеющие ничего общего с терроризмом. Террористическая кам-



пания организуется в несколько этапов, которые внешне выглядят как беспорядочная, случайная цепь не связанных между собой событий.

Поэтому кратко рассмотрим некоторые чрезвычайные ситуации и их последствия в мире и России, которые могут быть спровоцированы террористами.

В 2004 г. на территории Российской Федерации произошло около 1 130 чрезвычайных ситуаций, в результате которых погибло более 2 450 и пострадало свыше 23 тыс. человек. [8, 9]

При анализе основных тенденций развития чрезвычайных ситуаций установлено следующее. Суммарное их количество возросло по сравнению с предыдущим годом более чем на 35 % за счет увеличения числа техногенных (примерно на 66 %) и биолого-социальных (почти на 87 %, при этом инфекционная заболеваемость людей возросла вдвое) чрезвычайных ситуаций. Всего в чрезвычайных ситуациях в 2004 г. погибло более чем в два, а пострадало почти в полтора раза больше людей, чем в 2003 г.

При увеличении общего числа чрезвычайных ситуаций техногенного характера (в основном из-за резкого – почти в 6 раз – возрастания числа пожаров в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения, а также увеличения более чем на 30 % дорожно-транспортных происшествий с тяжкими последствиями и аварий с выбросом радиоактивных веществ) произошло меньше:

- аварий и катастроф грузовых и пассажирских поездов (на ~14 %);
- аварий грузовых и пассажирских судов (на ~32 %);
- аварий с выбросом химически опасных веществ (на ~38 %);
- обрушение зданий и сооружений жилого, социально-бытового и культурного назначения (на 50 %);
- аварий на электроэнергетических системах (на ~33 %), на коммунальных системах жизнеобеспечения (на ~42 %), на тепловых сетях в холодное время года (на ~77 %);
- гидродинамических аварий (на 50 %);
- взрывов в зданиях, на коммуникациях, технологическом оборудовании промышленных и сельскохозяйственных объектов (на ~39 %);
- взрывов в зданиях и сооружениях жилого и социально-бытового значения, пожаров в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании промышленных объектов (на ~16 %).

Количество крупных террористических акций сократилось почти на 37 % (12 акций в 2004 г. против 19 в 2003 г.), однако последствия их носили более тяжелый характер.

Снизилось (примерно на 20 %) количество природных чрезвычайных ситуаций, главным образом благодаря сокращению почти на 47 %

числа крупных природных пожаров, отсутствию снежных лавин, уменьшению случаев заморозков и засухи (на ~38 %) и отрывов прибрежных льдов (на ~36 %). Однако, чаще, чем в минувшем году, наблюдались такие природные явления, приводящие к возникновению чрезвычайных ситуаций, таких как землетрясения, извержения вулканов (на ~33 %), а также бури, ураганы, смерчи, шквалы, сильные метели (на ~54 %).

Структура количественных показателей чрезвычайных ситуаций, имевших место на территории Российской Федерации в 2004 г., представлена на рис. 6.3, погибших и пострадавших – на рис. 6.4 и 6.5.

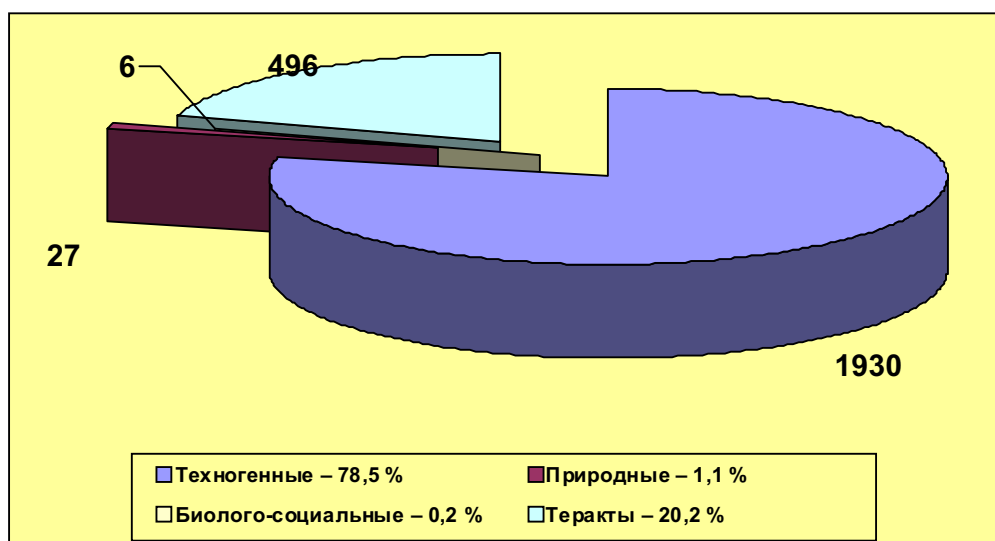


Рис. 6.3. Структура количественных показателей чрезвычайных ситуаций по их видам (2004 г.)

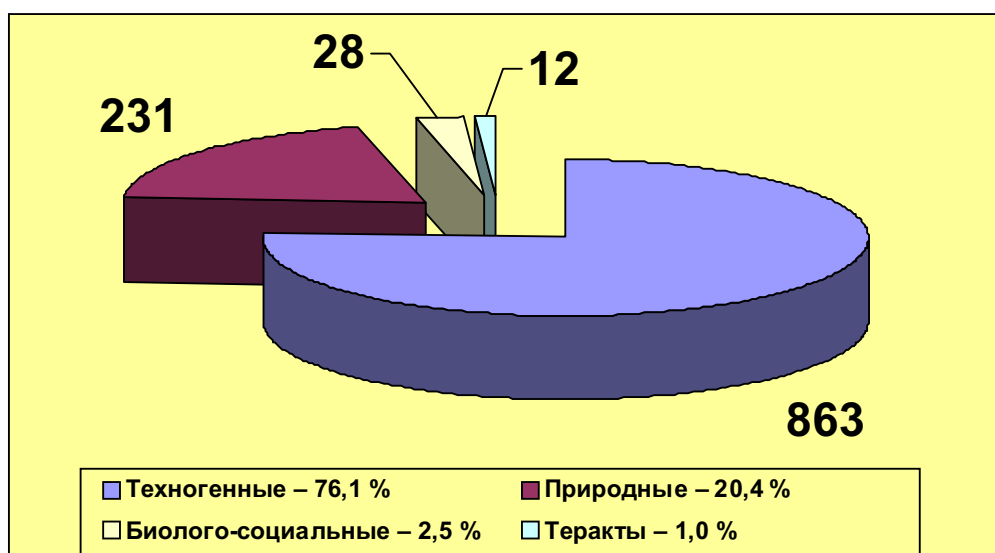


Рис. 6.4. Структура количественных показателей погибших по видам чрезвычайных ситуаций (2004 г.)

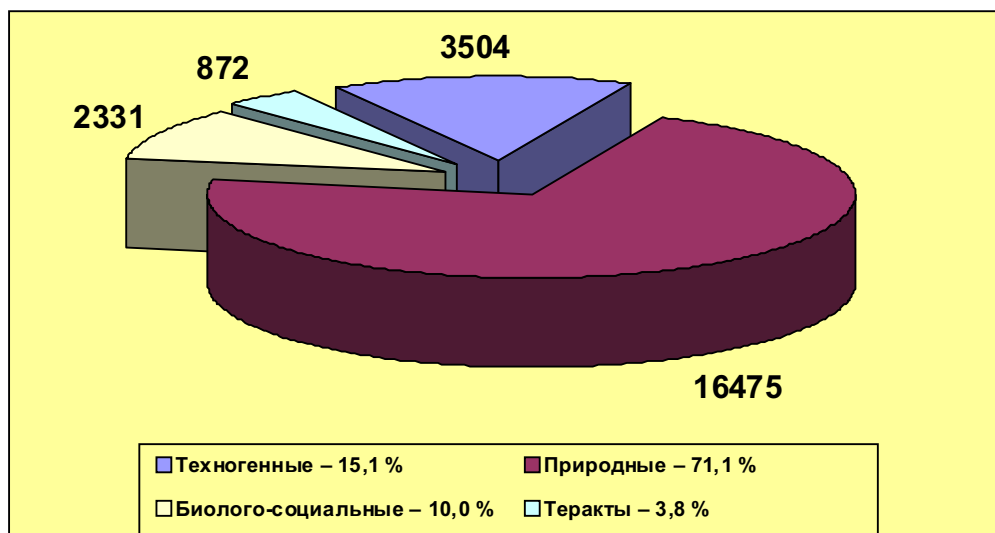


Рис. 6.5. Структура количественных показателей пострадавших по видам чрезвычайных ситуаций (2004 г.)

### Ущерб имуществу россиян в 2005 г.

Стихийные бедствия – более 42 млрд руб.

Пожары – более 4 млрд руб.

Действия преступников – более 37 млрд руб.

На **промышленных объектах** наблюдались чрезвычайные ситуации, связанные со взрывами в зданиях, на коммуникациях, технологическом оборудовании, а также аварии с выбросом химически опасных веществ.

Всего в промышленном, оборонно-промышленном и топливно-энергетическом комплексах в течение 2004 г. произошло 96 аварий, из них 73 на объектах Росэнерго.

Общее число подведомственных Минпромэнерго России потенциально опасных объектов превысило в настоящее время 22 тысячи, из которых больше половины входят в систему Росэнерго. Это взрывопожаро-, пожаро-, химически- и радиационно-опасные объекты, которые являются источниками возможных техногенных чрезвычайных ситуаций. Риск их возникновения увеличивается из-за старения и изношенности основных производственных фондов (в электроэнергетике они составляют около 60 %, в газовой промышленности – 70 %, в нефтяной промышленности – 80 %).

На предприятиях гражданских отраслей промышленности Роспрома (горнорудной, металлургической и других), эксплуатирующих опасные объекты, произошло 213 аварий. Наибольшее число погибших и пострадавших, как и в прежние годы, отмечается в угольной промышленности (более 120 несчастных случаев со смертельным исходом в 2004 г. против 50 в 2003 г.).

Анализ показал, что причины аварий на промышленных объектах в основном остаются прежними.

*В нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности:*

- коррозия металла труб и повреждение трубопроводов или конструкций резервуаров;
- несанкционированные врезки сторонних лиц;
- нарушение обслуживающим персоналом техники безопасности и правил пожарной безопасности;
- конструктивные недоработки оборудования;
- низкое качество ремонта оборудования;
- заводской дефект труб;
- брак, допущенный в ходе строительно-монтажных работ, и нарушение их норм подрядными организациями.

*В газовой промышленности:*

- стресс-коррозия;
- несанкционированное проведение различными вневедомственными организациями земляных работ в охранных зонах газопроводов без учета минимальных безопасных расстояний от оси трубопровода.

*В угольной промышленности:*

- взрывы метана и угольной пыли, пожары и обрушение горных пород, недостаточно квалифицированное крепление различного оборудования и замена крепежной системы в шахтах, а также сложные условия работы комбайнов в забоях;
- пожары в шахтах, вызванные возгоранием конвейерной ленты и электрооборудования и подрывами угля;
- отключение электроэнергии в шахтах и другие аварийные ситуации, которые могут привести к весьма тяжелым последствиям.

*В электроэнергетике:*

- нарастание объема выработавшего свой ресурс оборудования;
- отсутствие бюджетного финансирования на строительство новых электростанций;
- крайне напряженная обстановка с обеспечением электростанций топливом;
- расположение объектов электроэнергетики на территориях с неблагоприятными природными условиями (в зонах сейсмической активности, в северных районах);
- концентрация производственных мощностей на ограниченной площади и в непосредственной близости от населенных пунктов;
- просчеты в проектировании, неудовлетворительное качество строительных и монтажных работ и недоделки на вновь вводимых объектах.

Потенциальным источником возникновения чрезвычайных ситуаций с большим числом пострадавших, значительным материальным ущербом, наступлением неблагоприятных экологических и санитарно-гигиенических последствий является **железнодорожный транспорт**.

**Воздушный транспорт.** По данным Минтранса России, в 2004 г. аварийность на гражданских воздушных судах увеличилась по сравнению с 2003 г. Имело место 17 авиационных происшествий (из них 15 на вертолетах), в том числе 6 катастроф (5 из них на вертолетах), в которых погибло 50 человек.

По данным МВД России, в 2004 г. наблюдалось увеличение количества происшествий **на автомобильном транспорте**. Зарегистрировано свыше 200 000 ДТП (на 2 % больше, чем в 2003 г.), в которых погибло около 34 500 и ранено больше 250 000 человек.

Таблица 6.2

*Аварии танкеров*

Дата	Происшествие	Последствия
Весна 1989 г.	У берегов Аляски потерпел аварию танкер	В море попало 50 тыс. т нефти, залито 1 500 миль побережья, ущерб от аварии оценивается в 5 млрд долл., из 28 видов наиболее пострадавших животных восстановились только два
Январь 1991 г.	В ходе войны в Персидском заливе из терминала в Кувейте иракцами было сброшено в воды залива около 600 тыс. т нефти	Потребовалось 247 дней и 27 специальных команд из США, России, Великобритании, Франции, Канады и других стран, чтобы положить конец бедствию, которое, по оценкам ученых, грозило экологической катастрофой планетарного масштаба
Январь 1997 г.	Российский танкер «Находка» затонул на пути из Китая на Камчатку	Около 19 тыс. т нефти вылилось в Японское море, образовав 50-километровое пятно
Октябрь 1999 г.	Авария нефтерудовоза № 7 АО «Волготанкер»	В Неву попало почти 70 т мазута. Пятимиллионный город мог остаться без воды
Декабрь 1999 г.	Мальтийский танкер «Эрика» попал в шторм и раскололся недалеко от побережья Франции	В море вылилось около 25 тыс. т нефти
2000 г.	Возле острова Галапагос потерпел аварию танкер «Джессика»	В море попала 1 тыс. т дизельного топлива, размер пятна составил 1 200 км <sup>2</sup> , удалось собрать 265 т

Продолжение табл. 6.2

Дата	Происшествие	Последствия
2001 г.	В Азовском море столкнулись танкер «Волго-нефть-138» и сухогруз	В море вылилось 700 т нефти
2001 г.	В Балтийском море, вблизи Дании, столкнулись танкер и сухогруз	В море попало 2 700 т нефти, удалось собрать не более 500 т
Ноябрь 2001 г.	Танкер «Норд-Вест» затонул в акватории Большого порта Санкт-Петербурга	На борту было 520 т мазута
22 июня 2002 г.	На внешнем рейде порта СПб. сорвало со швартовых танкер «Эвертон»	Танкер был загружен нефтепродуктами
3 октября 2002 г.	В акватории Невы после пожара затонула нефтеналивная баржа «Гага»	В танках полузатонувшего (с дифферентом на корму 26°) судна находится 1 000 т мазута и 315 т дизельного топлива
6 октября 2002 г.	В Аденском заливе у берегов Йемена взорвался французский танкер «Лимбург»	Танкер шел из Ирана с грузом около 400 тыс. баррелей сырой нефти. Вся она вылилась в море. Спасателям удалось снять с борта судна 11 из 25 членов экипажа. Судьба остальных неизвестна. Дипломаты, работающие во французском посольстве в Йемене, не исключают, что танкер мог стать жертвой теракта
13 ноября 2002 г.	Либерийский танкер «Престиж», зафрахтованный российской компанией «Альфа-групп», потерпев бедствие в Атлантике в 150 км от северо-западного побережья Испании, раскололся надвое и затонул 19 ноября	Ущерб от аварии оценивается более 2 млрд евро
25 ноября 2002 г.	Сразу две катастрофы произошли у берегов Китая. Вблизи Гонконга загорелся танкер «Gas Poem»	На северном побережье КНР убирают нефть от протараненного мальтийского танкера

Окончание табл. 6.2

Дата	Происшествие	Последствия
17 декабря 2002 г.	Два грузовых судна столкнулись у берегов Таиланда, получив серьезные повреждения	Через пробоину в борту танкера нефть вылилась в море. Столкновение сингапурского контейнеровоза «Кота Виджая» и панамского танкера «Скай Эйс» произошло из-за плохой видимости. О судьбе экипажей судов на настоящий момент информация не поступала. Власти пытаются минимизировать возможные экологические проблемы для района, вызванные утечкой нефти

Таблица 6.3

*Аварии на нефтепроводах*

Дата	Происшествие	Последствия
Январь 2000 г.	На 139-м километре магистрального нефтепродуктопровода «Уфа–Камбарка» АК «Транснефтепродукт»	При проведении земляных работ бульдозером поврежден трубопровод. При этом вылилось около 30 м <sup>3</sup> дизельного топлива
Февраль 2000 г.	На 11-м километре магистрального нефтепровода «Нефтекумск – станция налива в п. Чкалова» АК «Транснефть» (Управление Ставропольского округа)	Из-за несанкционированной врезки неизвестными лицами произошел разлив нефти в объеме свыше 20 м <sup>3</sup>
Март 2000 г.	На 353-м километре магистрального нефтепровода «Туймазы – Омск – Новосибирск-Н» ОАО «Уралсибнефтепровод»	Обнаружен выход нефти объемом свыше 25 м <sup>3</sup> с попаданием на лед р. Ицелька. Причина аварии – коррозионное разрушение
Май 2000 г.	Авария на 126-м километре магистрального нефтепровода «Салават – Орск» ОАО «Урало-Сибирские магистральные нефтепроводы»	При земляных работах строительной техникой был поврежден нефтепровод с выходом около 30 м <sup>3</sup> нефти
Август 2000 г.	При ремонте изоляции трубы на 752-м километре магистрального нефтепровода «Омск – Иркутск» ОАО «Урало-Сибирские магистральные нефтепроводы» произошло разрушение трубопровода по стыку сварки	Произошел пожар, около 100 м <sup>3</sup> нефти вылилось на грунт

Дата	Происшествие	Последствия
Май 2001 г.	На 675-м километре магистрального нефтепровода «Александровская – Анжеро-Судженск» (подводный переход через р. Обь) ОАО «Центрсибнефтепродукт» произошла авария с разрушением трубопровода	Нефть попала в р. Обь
Июнь 2001 г.	На 665-м километре магистрального нефтепровода «Ухта – Ярославль» ОАО «Северные магистральные нефтепроводы» произошел выход нефти через уплотняющий сальник	Вылилось около 50 т нефти, часть ее попала в р. Уфтьюга. Причина аварии – состояние запорной арматуры
Август 2001 г.	На 350-м километре магистрального нефтепровода «ТОН-1» ОАО «Урало-Сибирские магистральные нефтепроводы»	При обследовании нефтепровода была обнаружена несанкционированная врезка, из которой хлестала нефть
Сентябрь 2001 г.	На 82-м километре магистрального нефтепровода «Туймазы – Уфа-3» ОАО «Уралсибнефтепровод» произошла утечка около 200 л нефти через коррозионный свищ на сварном стыке	Вся нефть ушла в р. Кармасан
Сентябрь 2001 г.	На 263-м километре магистрального нефтепровода «Горький – Ярославль» ОАО «Верхневолжскнефтепровод» разрушился трубопровод	Утечка около 600 м <sup>3</sup> нефти и попадание 150 м <sup>3</sup> в р. Увось
Апрель 2002 г.	Произошел прорыв на 38-м километре нефтепродуктопровода «Пермь – Альметьевск – Запад», принадлежащего ООО «ЛУКОЙЛ – Пермьнефтепродукт»	На землю, а также в р. Северная вылилось более 150 т дизельного топлива. Солярка попала в водопровод, снабжающий питьевой водой п. Юго-Камск. Причина аварии – лопнувший шов или несанкционированная врезка в трубопровод

*Примечание. Используются материалы журнала «Безопасность труда в промышленности», издаваемого Госгортехнадзором РФ.*



Крупнейшие аварии в угольной промышленности с 2000 года.

Известна шахтерская статистика: каждый миллион тонн угля стоит одной жизни шахтера.

#### **2000 год**

Март. При ликвидации аварии на шахте «Комсомолец» в Ленинске-Кузнецком (Кемеровская область) произошел взрыв метана. Погибло 12 горноспасателей.

#### **2001 год**

Март. В Междуреченске (Кемеровская область) взорвался метан на крупнейшем угольном предприятии России – шахте «Распадская». Погибло четверо горняков, шестеро получили ранения. Трагедия произошла из-за нарушений правил техники безопасности.

Декабрь. В результате взрыва на шахте имени Ворошилова НПО «Прокопьевскуголь» (Кемеровская область) погибло четверо горняков, еще двое получили тяжелые ранения.

#### **2002 год**

Январь. 5 человек погибло, еще 8 пострадали в результате взрыва метана на шахте Воркутинская в Республике Коми. Спасателям пришлось поднять на поверхность с 725-метровой глубины около 90 человек.

Март. На шахте Коксовая в Кузбассе взорвался метан. Выброс газа спровоцировали взрывные работы в забое. Четверо шахтеров погибло, несколько человек получили ранения.

#### **2003 год**

Июнь. Взрыв метана на шахте «Зиминка» в Кемеровской области. Погибло 12 горняков.

Октябрь. В результате прорыва подземного озера в городе Новошахтинск Ростовской области оказалась затоплена шахта Западная-Капитальная. В результате на 700-метровой глубине оказались заблокированными 71 шахтер. Операция по их спасению продолжалась почти неделю. 69 человек удалось спасти.

В день, когда они были выведены на поверхность, крупная авария произошла в Партизанске (Приморский край). Там из-за взрыва метана на глубине 700 м в угольной шахте оказались заблокированными тоже 71 шахтер. Шестеро погибло, около 10 попали в больницы.

#### **2004 год**

Январь. 5 шахтеров погибло, около 20 получили ранения в результате взрыва метана на шахте «Сибирская» в Анжеро-Судженске.

Апрель. Авария на шахте «Тайжина» унесла жизни 47 человек.

Октябрь. 13 горняков погибло при взрыве метана на шахте «Листвяжная» в Кемеровской области.

## **2005 год**

Февраль. Крупнейшая авария на шахте «Есаульская» унесла жизни 25 горняков. Шахта считалась одной из лучших в Кузбассе как по производственным показателям, так и по уровню безопасности.

Май. Взрыв метана на угольной шахте № 12 в Киселевске. Один шахтер погиб.

## **2007 год**

Март. Крупнейшая авария на шахте «Ульяновская» Кемеровской области унесла жизни 110 человек.

Май. Авария на шахте «Юбилейная» Кемеровской области. 39 человек погибло.

Статистика в Китае только за 2005 год шокирует. В начале года в провинции Ляонин произошла крупнейшая за последние 15 лет авария в угольной отрасли – погибло более 200 человек. Через несколько месяцев в результате взрывов метана на шахтах провинций Хэйбэй и Шаньси погибло свыше 65 человек. В 2004 году в результате аварий и несчастных случаев на китайских шахтах погибло 6 027 человек, в 2003-м – 6 702. В целом на Китай приходится более 70 % жертв аварий на шахтах в мире каждый год.

Перейдем к Украине, которая находится на 11-м месте по добыче угля в мире. За последние 12 лет на шахтах этой страны произошло более 20 крупных аварий, в которых погибло свыше 800 горняков. Назовем самые крупные за последние годы. В июле 2004-го взрыв метана на шахте «Краснолиманская» унес жизни более 30 горняков. В июле 2002-го – взрыв и пожар на шахте «Украина» в Донецкой области, погибло 35 человек. Крупнейшая за всю историю независимой Украины авария произошла в марте 2000 года на шахте им. Баракова в Луганской области: в результате взрыва метана и угольной пыли там погибло 80 горняков. Печально известна среди горняков шахта имени Засядько. Несколько аварий на ней стоили жизни более чем 135 шахтерам. Самая крупная случилась в мае 1999-го – погибло 50 шахтеров, 40 получили травмы.

В 1984 г. в Мексике на газораспределительном заводе взорвались емкости со сжиженным газом. В результате погибло 452 человека, пропало без вести 1 000, ранено 4 238, в радиусе 1 км разрушены здания.

Рекордным по числу крупных аварий на трубопроводах России был 1989 год. Самая первая произошла осенью 1985 г. недалеко от Уфы, вторая – в феврале 1989 г. вблизи Тобольска. 3 июня 1989 г. – катастрофический взрыв в Башкирии. От горения в образовавшейся топливно-воздушной смеси возник огненный смерч, который погубил 572 пассажира двух железнодорожных составов и тысячу оставил инвалидами. Сила взрыва была такова, что в городе Аша, в 11...12 км от места взрыва, были выбиты практически все стекла, а в поселке Красный Восход (5 км) выле-

тали не стекла, а рамы. Такой характер разрушений под действием ударной волны соответствует взрыву тротилового заряда массой от 6 до 8 кт. Это лишь вдвое меньше, чем при атомном взрыве над Хиросимой – там выделилась энергия, эквивалентная 12...20 килотоннам тротила.

Только в этом же газопроводе, до катастрофы под Уфой, произошло 40 аварий меньшего масштаба.

Гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф. В периоде с 1959 по 1987 гг. в мире произошла 31 крупная авария плотин, в результате которых погибло более 23 тыс. человек и был причинен ущерб свыше 1 млрд долл. В 1979 г. авария на плотине в Морви (Индия) унесла около 15 тыс. жизней. В 1963 г. авария плотины в Италии привела к гибели 3 тыс. человек.

Особую опасность для государства представляет последовательный или одновременный выход из строя нескольких ГЭС каскада и других электростанций, могущий вызвать нарушения электроснабжения больших территорий.

Подобная авария произошла в середине сентября 2003 г. на северо-востоке США и юге Канады, имеющих общую энергосистему, когда за девять секунд были остановлены более ста электростанций, в том числе ГЭС, и 22 атомных реактора, и на площади свыше 24 тыс. км<sup>2</sup> произошли отключения электричества. В результате около 50 млн человек остались без электроэнергии. Одна из версий причин аварии предполагала возможность террористического акта. Однако экстренно созданная американо-канадская комиссия установила, что авария, вызвавшая тотальное отключение света, произошла на территории США в штате Огайо, где не сработала система предупреждения аварийных ситуаций.

Массовое отключение энергии в Северной Америке произошло в 1965 г. Тогда без света остались 22 млн человек. В июле 1977 г. произошло «великое затмение» в Нью-Йорке, и огромный город с многомиллионным населением остался без электричества в течение 25 часов в результате крупной аварии в энергосистеме.

Известны катастрофические аварии и отключения энергосистем, кроме США, в Канаде, Швеции, Франции, Бельгии и других странах. В октябре 1996 г. подобная авария произошла в Казахстане. Возможны крупномасштабные отключения электроэнергии в странах Балтии вследствие параллельной, синхронной работы энергосистем трех бывших прибалтийских республик.

Производство электроэнергии и ее потребление – непрерывный, единый во времени процесс. Невозможно накапливать в больших количествах электроэнергию, чтобы «отдать» ее в нужный момент потребителю. Поэтому отдельные энергосистемы должны иметь между собой

надежные системные связи, чтобы в случае «конца света» в одной из систем получить помощь от энергопроизводителей соседних стран.

Крупные системные аварии демонстрируют уязвимость стран в случае преднамеренного отключения энергии. Специалисты по борьбе с терроризмом в США смоделировали на компьютере отключение электроэнергии в Нью-Йорке и получили неутешительные результаты. Все эти события свидетельствуют о большой опасности отключения энергосистем и возможностях использования ЧС для нанесения удара террористами или противоборствующими военными силами.

### *Ядерные инциденты в мире*

Хотя средства массовой информации склонны трактовать любое событие на ядерных установках как потенциальную катастрофу, в действительности большинство этих событий, так же как и в других отраслях, характеризуется незначительными масштабами и последствиями. Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) разработана и с 1990 года внедрена в России Международная шкала событий на АЭС, которая включает 7 уровней. Все страны обязаны в течение 24 часов сообщать МАГАТЭ о любых событиях, квалифицируемых на уровень 2 или выше по этой шкале.

Все возможные аварии на АЭС разделяются на две категории: аварии, не связанные с радиоактивными веществами, и аварии, при которых происходит выброс радиоактивных веществ в окружающую среду.

Конечно, на АЭС может сгореть трансформатор, выйти из строя подшипник насоса или даже возникнуть пожар, но подобные случаи в принципе не могут привести к выбросу радиоактивных веществ и создать радиационную опасность. Именно такие аварии на АЭС обычно и происходят, но происходят, как показывает практика, значительно реже, чем на ТЭЦ. Некоторые специалисты их даже вообще авариями не считают, а называют «происшествие» или «инцидент».

Аварии, связанные с радиацией, могут произойти, если разрушится реактор, нарушится герметичность первого контура. Для предотвращения подобных аварий существует специальная система аварийной защиты, которая должна остановить цепную реакцию и предотвратить разрушение реактора из-за перегрева. Если авария произойдет, то на пути радиоактивных продуктов стоят многочисленные барьеры, которые ограничивают их выход в окружающую среду. Так что в целом реактор является хорошо защищенной системой.

То, что это действительно так, подтверждает следующий факт.

В мире за более чем 50 лет функционирования атомной энергетики произошло две аварии со значительным выбросом радиоактивности –

авария в Англии в Уиндскейле в 1957 году ( $7 \cdot 10^{11}$  Бк) и авария в Чернобыле в 1986 году ( $2 \cdot 10^{18}$  Бк). Обе аварии произошли на реакторах с графитовым замедлителем. В обоих случаях аварии сопутствовал пожар из-за возгорания графита. На водо-водяных энергетических реакторах за 7 000 реакторо-лет (такой величиной измеряется сегодняшний опыт эксплуатации) не было ни одного случая значительного выброса.

Авария на АЭС «три-Майл-Айленд», которая произошла 28 марта 1979 г., до сих пор считается самой тяжелой ядерной аварией в США.

Вследствие грубейших ошибок персонала перегрелись и частично расплавились тепловыделяющие элементы. Однако конструкция внешней оболочки выдержала и никаких разрушений не произошло. Выброс радиоактивности оценивается в  $9 \cdot 10^{16}$  Бк, но она не вышла за пределы защитной зоны. Три сотрудника получили дозу втрое меньше той, которую большинство из нас ежегодно получает при прохождении флюорографии. Реальные расходы компании, потерявшей энергоблок, оцениваются в 2 млрд долл. Интересно сравнить этот выброс с тем выбросом радиоактивности, который произошел при извержении вулкана Сент-Хемис 18 мая 1980 года. Природа сама рождает радиоактивность, и при извержении было выброшено  $1,1 \cdot 10^{17}$  Бк – даже больше, чем при аварии на АЭС. Причем в выбросах вулкана радиоактивность была образована радием, торием, полонием, свинцом, калием, которые биологически потенциально более опасны.

С 1945 года почти 60 аварий с критичностью разной степени серьезности произошло во всем мире, в основном в США и бывшем Советском Союзе. Не считая последней аварии на Токайском комбинате и двух аварий, имевших место в 1997 году на российских военных заводах, все они произошли до начала 80-х годов, причем две трети из них (36) произошли либо на исследовательских реакторах, либо в лабораториях во время работ с «критическими сборками». Ни одна из них не привела к значительному выбросу радиоактивности в окружающую среду.

21 авария, почти одна треть, произошла на заводах ядерного топливного цикла, при этом погибло семь человек, а еще 40 получили значительные дозы облучения. Опять же никаких значительных выбросов радиоактивности в окружающую среду не произошло.

Двадцать аварий из 21 произошли на американских и советских заводах.

В 20 из 21 аварии участвовали жидкие растворы делящихся материалов и ни в одной из них не имели места ни отказ оборудования, ни неправильные расчеты. В большинстве случаев основной причиной явилась неудачная оценка всего разнообразия возможных сценариев аварии, особенно с учетом возможной ошибки персонала.

Таблица 6.4

## Международная шкала ядерных событий (INES)

7	<p><i>Крупная авария</i>  <i>Авария на Чернобыльской АЭС, Украина, 1986 г.</i>          Взрыв и пожар на 4-м блоке. Непосредственно после аварии большие дозы облучения получили более 300 человек из персонала станции и пожарных. Окончательный диагноз острой лучевой болезни поставлен 134 человекам. Из них 28 скончались вскоре после аварии, в последующие годы умерли еще 13, во время аварии 3 человека погибли от иных причин. Наибольшему загрязнению подверглись части территорий Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей</p>	А В А Р И Я	
6	<p><i>Серьезная авария</i>  <i>Авария на ПО «Маяк», Южный Урал, Россия, 1957 г.</i>          Тепловой взрыв емкости-хранилища высокорadioактивных отходов. Образование восточно-уральского радиоактивного следа. На основе оценок дозы облучения было принято решение об эвакуации и отселении 10 800 человек. Последствий облучения не выявлено.  <i>Авария на заводе Уиндскейл, Великобритания, 1957 г.</i>          Тепловой взрыв и пожар на газографитовом промышленном реакторе, служащем для наработки оружейного плутония. Облако радиоактивного выброса прошло над центральными районами Англии и достигло Европы</p>		
5	<p><i>Авария с риском за пределами площадки</i>  <i>Авария на АЭС Тримайлайленд, США, 1979 г.</i>          Тяжелая авария с расплавлением активной зоны реактора. При этом защитная оболочка не разрушилась, выброса радиоактивности за ее пределы не было</p>		
4	<p><i>Авария без значительного риска за пределами площадки</i>  <i>Авария на предприятии ЯТЦ Токаймура, Япония, 1999 г.</i>          Возникновение неуправляемой цепной реакции. Двое рабочих предприятия, непосредственно виновных в аварии, скончались от переоблучения. Незначительный выброс радиоактивности на территории предприятия. Более 300 тыс. человек, проживавших в 10-километровой зоне от завода, были временно эвакуированы</p>		
3	<p><i>Серьезный инцидент</i>  <i>Авария на Сибирском химическом комбинате, Томск, Россия, 1993 г.</i>          Взрывное разрушение одного из технологических аппаратов на радиохимическом заводе. Радиоактивное загрязнение производственных помещений, территории промышленной площадки РХЗ и соседних промышленных площадок. Переоблучения персонала и населения не было</p>		
2	<i>Инцидент</i>		Событие, важное для безопасности
1	<i>Аномалия</i>		
0	<i>Отклонение</i>	Несущественно для безопасности	

Одним из основных извлеченных из этого уроков является необходимость в более высоком уровне обучения персонала.

Как показал опыт, риск инцидента или аварии с критичностью обычно огражден стенами лабораторий и заводов ядерного топливного цикла или исследовательских реакторов.

Всего за последние 60 лет атомной эры в нашей стране заболели острой лучевой болезнью 344 человека, включая моряков-подводников, из них 71 человек умер. Неблагоприятные симптомы выявили у 568 человек, среди них – 434 чернобыльца.

Для сравнения в течение года в результате несчастных случаев на производстве, и особенно в быту, в России гибнет не менее 100 тыс. человек и 1 млн человек получают травмы.

В заключение несколько примеров о наиболее значимых природных чрезвычайных ситуациях.

«Американский журналист Дж. Палмер в статье «Стихии разбушевались» пишет: «В исследовании, проведенном страховой компанией «Тревелерс Корпорэйшн», высказывается предположение, что, если к 2010 г. среднемировая температура повысится всего лишь на 0,9 °С, этого будет достаточно, чтобы усилились ветры, на треть увеличилось число ураганов, обрушивающихся на побережье США, и на 30 % возрос ущерб в Соединенных Штатах от стихийных бедствий». По оценкам исследовательской организации «Geo-science Research Group», количество природных катастроф в 1997–1999 гг. возросло на четверть по сравнению с началом последнего десятилетия ушедшего века. В 1999 г. в мире случилось 755 природных катастроф (в начале 1990-х – 600), которые нанесли экономический ущерб в 100 млрд долл.

На конференции в Йокогаме (Япония) в мае 1994 г. была обнародована малоприятная статистика. С 1965 г. по 1992 г. от природных катастроф в мире погибли около 3,6 млн человек, пострадали более 3 млрд, а общий экономический ущерб составил 340 млрд долл. Но еще хуже то, что число потерь ежегодно возрастает на 6 %.

Примером экологической катастрофы, вызванной конфликтом, являются события, которые происходили на территории Кувейта и близлежащих территорий Персидского залива после операции «Буря в пустыне» в начале 1991 г. Отступая из Кувейта, иракские оккупанты подорвали свыше 500 нефтяных буровых скважин. Значительная их часть вспыхнула и горела на протяжении шести месяцев, отравляя вредными газами и сажой большую территорию. Из буровых скважин, которые не воспламенились, нефть била фонтанами, образуя большие озера, и стекала в Персидский залив. Сюда же вылилось большое количество нефти из подорванных терминалов и танкеров. В результате нефтью

было покрыто свыше 1 554 км поверхности моря, 450 км береговой полосы. Погибло множество птиц, морских черепах, дюгоней и других животных. В огненных факелах ежедневно сгорало 7,3 млн л нефти, равное объему нефти, который ежедневно импортируют США. Тучи сажи от пожаров поднимались на высоту до 3 км и разносились ветром далеко за границы Кувейта – черные дожди выпадали в Саудовской Аравии и Иране, черный снег – в Кашмире (за 2 000 км от Кувейта). Загрязнение воздуха нефтяной сажой вредно влияло на здоровье людей, так как сажа содержала много канцерогенов. Эксперты установили, что эта катастрофа сопровождалась такими явлениями:

- тепловое загрязнение (86 млн кВт ежедневно). Такое же количество энергии выделяется вследствие лесного пожара на площади 200 га;
- сажа от горящей нефти – 12 000 т ежедневно;
- углекислый газ – 1,9 млн т ежедневно (это составляет 2 % всего  $\text{CO}_2$ , выделяющегося в атмосферу Земли вследствие сжигания минерального топлива всеми странами мира);
- $\text{SO}_2$  – 20 тыс. т ежедневно (что составляет 57 % количества  $\text{SO}_2$ , которое ежедневно поступает из топок всех ТЭЦ США).

По данным Дитера Келлетата из университета Дуйсбург-Эссен, за последние 4 тыс. лет в мире отмечено более 2 300 цунами. О большинстве из них сохранились лишь упоминания. Первое научное описание цунами дал исследователь Камчатки С.П. Крашенинников. Он наблюдал цунами в 1737 г. у мыса Лопатка и обратил внимание на то, что перед тем, как на берег обрушилась волна высотой почти в 70 м, море отступило. Скалистое дно мгновенно обнажилось, после чего волна накрыла обнаженное дно и обрушилась на побережье с огромной силой.

Лиссабонское землетрясение 1755 г. также вызвало цунами с волнами высотой до 17 м. Стоящие на рейде суда были подхвачены волной и выброшены в город за несколько километров от берега. Многие районы Лиссабона превратились в груды развалин. Из 230 тыс. жителей погибло около 70 тыс. человек.

В 1896 г. цунами от подводного землетрясения в 240 км от берегов Японии, названное впоследствии Санрику, обрушилась на остров Хонсю. От огромной волны высотой 35 м погибло 27 тыс. человек. Прекратили свое существование все прибрежные городки и деревни, растянувшиеся на 600 км вдоль берега. Камчатское землетрясение в 1937 г. вызвало гигантскую волну высотой до 60 м.

Британский ученый-вулканолог Билл Мак Гир пришел к выводу, что в случае активизации вулканической деятельности вулкана Кумбре Вьеха на острове Пальма Канарского архипелага в Атлантике скальный массив горы объемом в  $500 \text{ км}^3$  может обрушиться в море. Высота этой горы пре-



вышает 2 400 м, а площадь основания очень мала. При обрушении ее возникнет цунами, волны которого будут двигаться концентрическими кругами со скоростью до 700 км/ч. При приближении к американским берегам они будут иметь высоту 8-этажного дома, а в Африке и Европе ~ и выше 100 м. От стихии в таком случае могут пострадать около 100 млн человек.

Самые разрушительные и страшные землетрясения происходят в густонаселенных районах. При землетрясении 1556 г. в китайских провинциях Чаньсу и Шэньси погибло 830 тыс. человек. Его эпицентр находился в городе Сиань, расположенном на берегах Хуанхэ. Во время катастрофы целые кварталы города погружались в рыхлый лёссовый грунт, который после разлива реки стал разжиженным. При землетрясении 1662 г. погибло более 3 млн человек.

Самые сильные землетрясения XX в. тоже приходились на Китай. Катастрофа 1920 г. унесла 200 тыс. жизней, 28 июля 1976 г. (по разным оценкам) погибло от 240 до 655 тыс. человек.

Самым значительным на территории СССР по количеству жертв было Ашхабадское землетрясение, которое произошло в ночь с 5 на 6 октября 1948 г. В эпицентре были отмечены толчки силой в 10 баллов, но и 8...9 баллов оказалось достаточно, чтобы разрушить весь город, погибло 100 тыс. человек.

**Социальные** катастрофы, по данным В.В. Довгуши и М.Н. Тихонова, за последние 5 566 лет люди пережили 14 513 войн, в которых погибли 3 640 млн человек и уничтожено ценностей на сумму свыше 115,13 клн долл. Населению Земли этих средств хватило бы на несколько тысяч лет. Война постоянно «дорожает».

Мировая термоядерная война в считанные минуты может уничтожить все человечество. Мощность всех ядерных зарядов в 1980 г. составляла 8 тыс. Мт тринитротолуола (по 2 т на каждого жителя Земли).

В конце 1980-х гг. затраты на вооружение в мире составляли уже 1 трлн долл.! Это превышает ассигнования всех стран мира на медицину, образование и жилищное строительство.

## 6. ЯДЕРНЫЙ ТЕРРОРИЗМ [1–7, 10, 26–28, 30]

Терроризм с использованием оружия массового уничтожения (ОМУ) и его компонентов является одной из разновидностей терроризма. Можно утверждать, что это наиболее опасная его форма и при этом потенциально наиболее привлекательная для террористических групп (хотя и наиболее трудно осуществимая).

В свою очередь, ядерный терроризм (ЯТ) является одной из разновидностей ОМУ-терроризма, хотя и наименее вероятной, но при этом наиболее опасной с точки зрения совокупности последствий (политических, военных, социальных, экологических, психологических).

Под ядерным терроризмом будем понимать совокупность намерений и действий отдельных лиц либо групп лиц по созданию либо приобретению иным образом работоспособного ядерного взрывного устройства (ЯВУ) с последующим его применением или угрозой применения для достижения декларируемых политических, социальных и иных целей и намерений.

Под актом ядерного терроризма понимается:

- использование или угроза использования ядерных материалов, топлива, радиоактивных отходов (РАО) либо иных радиоактивных веществ, их радиоактивных свойств или комбинации радиоактивных свойств с токсическими, взрывными или другими опасными свойствами;
- использование или угроза использования любых ядерных установок, ядерных взрывных устройств (ЯВУ) или радиационных рассеивающих устройств, а также составляющих их компонентов либо объектов, компонентами которых они являются, включая их разрушение или угрозу разрушения, равно как и изготовление самодельных ЯВУ, с целью повлечь смерть любого лица, причинить ему серьезные повреждения или нанести вред здоровью, или причинить значительный ущерб имуществу либо окружающей среде, или вынудить физическое или юридическое лицо либо группу лиц, государство или международную организацию совершить какое-либо действие или воздержаться от его совершения;
- получение или отчуждение без разрешения компетентных властей или обманным путем, кража, насильственный захват, присвоение,

владение, видоизменение, передача ядерных материалов, ядерного топлива, РАО либо иных радиоактивных веществ, любых ядерных установок, ЯВУ или радиационных рассеивающих устройств и составляющих их компонентов либо объектов, компонентами которых они являются, а также действия, которые представляют собой требование, путем угрозы силой или применения силы или с помощью какой-либо другой формы запугивания, о выдаче или передаче такого материала, источников, веществ, таких установок или устройств и/или составляющих их компонентов либо объектов, компонентами которых они являются.

В этом определении ничего не говорится о государстве, хотя государство может играть роль террориста. При этом на первое место выводятся политические, экономические, юридические и социальные аспекты, а не физико-технические проблемы, хотя и они играют важную роль.

Следует заметить, что ядерный терроризм как сложный социально-политический, экономический, религиозный и военно-технический феномен изучен явно недостаточно. Эта проблема для своего решения требует комплексного, всестороннего подхода, выработки международных законоположений и системы эффективных практических мер по предотвращению ядерного терроризма.

Угроза ядерного терроризма в последние годы усугубляется еще и тем, что терроризм в целом, как явление политической и социальной борьбы, из внутренней проблемы отдельных государств все больше превращается в серьезный международный фактор. В первую очередь опасность ядерного терроризма неразрывно связана с расширением масштаба деятельности различных экстремистских и фундаменталистских религиозных группировок, рассматривающих террор как мощное средство для достижения своих целей. Многие из них прочно обосновались в различных регионах мира – Ближний Восток, Южная Азия, Чечня – и пустили там глубокие корни, что в значительной степени определяет их высокую живучесть и долговременность функционирования.

Продолжающееся «горизонтальное» распространение ядерного оружия (пример Индии и Пакистана), отсутствие у новых его обладателей эффективной системы обеспечения ядерной безопасности повышает риск хищений боеприпасов и их использования в диверсионных или провокационных целях. Запуск ракеты с ядерной боеголовкой в сторону России или США, произведенный с «неопознанного» корабля, находящегося в акватории Мирового океана, может быть воспринят жертвой нападения как нанесение другой державой первого удара. Весьма вероятным исходом такого развития событий может явиться «ответный» для каждой из сторон ядерный удар, а в итоге – развязывание мировой тер-

моядерной войны. Столь драматический сценарий определяет необходимость тесного взаимодействия всех стран мирового сообщества в рамках и двусторонних усилий, и по линии ООН и других международных организаций в борьбе с международным терроризмом, по предотвращению проявления его наиболее опасной ядерной составляющей.

В настоящее время нет единого мнения в том, какие конкретные страны представляют наибольшую угрозу в плане ядерного распространения.

Таблица 6.1

*Восприятие ядерных угроз, исходящих от государств*

	Китай	КНДР	Индия	Иран	Израиль	Япония	Пакистан
Бразилия	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Китай	Нет данных	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Низкая	Высокая	Низкая
Египет	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая	Умеренная
Германия	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Умеренная	Низкая	Умеренная
Индия	Умеренная	Низкая	Нет данных	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая
Индонезия	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Низкая	Низкая	Умеренная
Иран	Низкая	Низкая	Низкая	Нет данных	Высокая	Низкая	Низкая – умеренная
Израиль	Умеренная	Высокая	Низкая	Высокая	Нет данных	Низкая	Высокая
Япония	Умеренная	Высокая	Низкая	Умеренная	Низкая	Нет данных	Умеренная
Пакистан	Низкая	Низкая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Нет данных
Республика Корея	Низкая – умеренная	Умеренная – высокая	Низкая	Умеренная	Низкая	Умеренная	Умеренная
Россия	Высокая	Умеренная	Низкая	Умеренная	Умеренная	Низкая – умеренная	Высокая
Испания	Низкая – умеренная	Высокая	Низкая – умеренная	Высокая	Умеренная – высокая	Низкая	Умеренная
Южная Африка	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Швеция	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Умеренная	Низкая	Умеренная
США	Умеренная	Высокая	Умеренная	Высокая	Низкая	Низкая	Умеренная

Почти все государства сходным образом оценивают угрозу ядерного распространения со стороны Ирана и Северной Кореи. Те государства, которые рассматривают Северную Корею как слабую угрозу, также склонны не рассматривать серьезно угрозу со стороны Ирана, тогда как те страны, которые рассматривают угрозу со стороны Северной Кореи как умеренную или сильную, склонны видеть в Иране такую же угрозу.

Главным исключением здесь является Египет, который видит сильную ядерную угрозу со стороны Ирана, в то же время рассматривая ядерный вызов со стороны Северной Кореи как значительно меньшую угрозу.

Также важно отметить, что все опрошенные ядерные государства разделяют точку зрения, что Северная Корея и Иран представляют собой умеренную или высокую ядерную угрозу. По крайней мере, на первый взгляд это совпадение в восприятии угроз могло бы создать основу для того, чтобы данные государства совместно противодействовали вызовам режима нераспространения со стороны Северной Кореи и Ирана.

В таблице представлена оценка восприятия угроз на различные аспекты ядерного терроризма.

Таблица 6.2

*Ядерный терроризм*

	Устройства, рассеивающие радиацию	Диверсии против ядерных объектов	Самодельные ядерные взрывные устройства	Тактическое ядерное оружие (ТЯО)
Бразилия	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Китай	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Египет	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Германия	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Высокая
Индия	Умеренная	Умеренная	Низкая	Низкая
Индонезия	Умеренная	Низкая	Низкая – умеренная	Низкая
Иран	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Израиль	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Япония	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
Пакистан	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Республика Корея	Низкая – умеренная	Умеренная	Низкая	Низкая
Россия	Высокая	Умеренная – высокая	Низкая	Низкая
Испания	Умеренная	Высокая	Умеренная	Умеренная
Южная Африка	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
Швеция	Умеренная	Умеренная	Умеренная – высокая	Высокая
США	Высокая	Умеренная	Умеренная	Низкая

Несмотря на большое внимание американских СМИ и правительства США, которое они уделяют угрозе ядерного терроризма, большинство других стран мира не считают эту угрозу столь же актуальной<sup>5</sup>. Единственным государством со сходным уровнем обеспокоенности по поводу некоторых аспектов угрозы ядерного терроризма, по-видимому, является Россия, но даже США и Россия склонны преуменьшать угрозу ряда форм ядерного терроризма – например, несущих опасность реального взрыва ядерной бомбы.

Очень немногие государства рассматривают угрозу всех четырех основных форм ядерного терроризма как «высокую». Что касается устройств, рассеивающих радиоактивные вещества, или «грязных» бомб, как их называет пресса, то только США и Россия рассматривают эту угрозу как «высокую», в то время как семь государств расценивают ее как «низкую». В нашей выборке только Испания и Иран расценивают угрозу диверсий или атак против ядерных объектов как «высокую», при этом Иран, по-видимому, имеет в виду атаки со стороны США или Израиля. Вероятность создания террористами самодельного ядерного взрывного устройства расценивается как «низкая» десятью из рассматриваемых государств, и она не расценивается как «высокая» ни одним из государств, включая США и Россию. Только пять из рассматриваемых государств расценивают угрозу хищения и использования готовых ядерных взрывных устройств (в первую очередь – ТЯО) как «высокую» или «умеренную», хотя отсутствие ясности в определении этого термина, скорее всего, объясняет то, что несколько стран в Азии приписали этой угрозе «низкую» опасность.

В целом, США, некоторые из их союзников, а также Россия испытывают наибольшее беспокойство по поводу ядерного терроризма.

В 1980 году 68 странами была подписана разработанная МАГАТЭ конвенция о физической защите ядерных материалов.

В настоящее время, когда сложились объективные предпосылки для расширения сферы деятельности преступных и террористических группировок до международных масштабов, опасность попадания ядерного оружия, ядерных и радиационных материалов в руки террористов многократно увеличилась.

Угроза применения ядерного и радиационного оружия стала реальной, особенно если учитывать довольно известные всем случаи использования радиоактивных материалов с целью устрашения, подчинения своей воле или удовлетворения корыстных интересов.

Поэтому необходимым является рассмотрение проблем, связанных с вероятностью совершения преступными группировками (террористами или другими субъектами) террористических актов с использованием ядер-

ных и радиационных материалов, и возможных вариантов ответных действий общественности и специальных сил реагирования на угрозу.

В мире произошло более 150 инцидентов (взрывы в месте расположения ядерных объектов, кражи и контрабанда ядерных материалов и т. д.), которые предусматривали повышения уровня опасности. Очень важно, что они показали несовершенство антитеррористического законодательства и несовершенство систем контроля радиоактивных материалов, а также неподготовленность официальных структур к нейтрализации этих угроз.

Кроме того, выяснилось, что человеческий фактор является наиболее слабым звеном в системе обеспечения безопасности против угрозы ядерного терроризма.

### **6.1. Объекты ядерного терроризма**

Акты ЯТ могут быть совершены как на территории государств с ядерными объектами, так и на территориях государств, где такие объекты отсутствуют. Риск совершения акта ЯТ наиболее вероятен в государствах, где большая концентрация объектов ЯТЦ и ЯМ; сосредоточено наибольшее количество террористических организаций.

Таким образом, риск оказывается наиболее серьезным прежде всего для США, в несколько меньшей степени – для Франции, Израиля, Японии, России, Армении, Пакистана, Индии. В региональном плане наиболее уязвимы Северная Америка, Европа, Ближний Восток, Восточная Азия.

Объектами актов ЯТ на территории отдельных государств с наибольшей вероятностью могут стать правительства этих государств, к которым будет применен ядерный шантаж и будут предъявлены требования, скорее всего, политического характера. Помимо этого, с убывающей степенью вероятности объектами актов ЯТ могут стать:

- отдельные государственные или общественные деятели;
- представители национальных, этнических групп населения;
- представители религиозных групп населения.

Субъектами ядерного терроризма являются террористические группы, секты, радикально настроенные политические движения.

Особенно опасно, когда террористические группы смыкаются с организованной преступностью (Колумбия, Чехия) и когда приобретают международный характер (рабочая партия Курдистана, Аум Синрикё, «Аль-Каида» Усамы Бен Ладана).

Большинство российского населения слабо информировано о конкретных проявлениях ядерного терроризма, которые имели место в различных регионах мира. Поэтому люди не представляют вполне отчетливо реальность угрозы совершения таких преступных

деяний. Диапазон подобных действий по своему характеру и возможным последствиям весьма широк и многообразен и неодинаково влияет на степень возникающей угрозы, однако игнорировать их потенциальную опасность вряд ли оправданно.

В 1961 г. опасная ситуация международного масштаба сложилась с ядерным оружием Франции, когда группа правых генералов, недовольных политикой президента де Голля, намеревалась захватить ядерный боезаряд, находившийся на испытательном ядерном полигоне в Сахаре, и предъявить Парижу политический ультиматум. Осознание реальности подобной угрозы побудило высшее руководство Франции предпринять решительные шаги по ускорению проведения испытательного взрыва этого боезаряда, что и было исполнено 25 апреля 1961 г.

В 1975 г. широкую известность получил террористический акт, совершенный в Бостоне, когда властям США группой злоумышленников был предъявлен ультиматум о передаче им крупной суммы денег под угрозой включить в случае отказа часовой механизм для подрыва ядерной боеголовки. Реальная опасность взрыва оценивалась настолько серьезно, что об этом происшествии был поставлен в известность президент страны. Этот случай выявил полную неподготовленность официальных структур Америки по нейтрализации подобных угроз. В результате этого в недрах министерства энергетики была образована специальная команда, оснащенная соответствующим комплектом оружия и поискового оборудования, обеспечивающего дистанционное обнаружение ядерных взрывных устройств и радиоактивных материалов. С тех пор эта спецкоманда постоянно готова к действиям по нейтрализации возникающих подобных угроз. В прошлом году в США утверждена широкомасштабная программа действий государственных властных правоохранительных структур, а также формирований вооруженных сил в ситуации применения оружия массового уничтожения на территории страны.

Определённым источником опасности может стать ядерное оружие, которое в силу тех или иных причин оказалось утраченным. Правда, в настоящее время вероятность попадания его в руки экстремистов весьма невелика, однако кто может предоставить гарантии, что в недалеком будущем ситуация в этой области не изменится в худшую сторону.

В 1958 г. мощную американскую термоядерную авиабомбу случайно обронил в море у берегов Испании бомбардировщик В-47, две атомные бомбы лежат на дне Атлантического океана недалеко от города Кейп-Мей (шт. Нью-Джерси), которые были сброшены с самолета, направлявшегося в Европу, в связи с возникшими во время полета неполадками в двигателе. Еще две авиабомбы покоятся в акватории Тихого



океана в районе залива Пьюджет-Саунд (шт. Вашингтон) и в районе города Юрика (шт. Северная Каролина).

В 1986 г. не обошлось без потерь ядерного оружия и в СССР. Затонула в Карибском море атомная подводная лодка К-219, на которой размещались ракеты с ядерными боеголовками. Американские власти предпринимали большие усилия для подъема подлодки и извлечения ядерных боеголовок, однако они не увенчались успехом.

В 1989 г. в Норвежском море затонула многоцелевая АЛЛ «Комсомолец», на борту которой находились торпеды с ядерными боеголовками. Попытки поднять подлодку или извлечь из нее торпеды также оказались безрезультатными.

В 1998 г. на многоцелевой подводной лодке Северного флота «Вепрь» с торпедами в ядерном снаряжении девятнадцатилетний матрос, находясь в состоянии психического срыва, расстрелял восемь человек из состава экипажа, после чего заперся в торпедном отсеке, угрожая взорвать подлодку. Рядом с этой подлодкой находились и другие субмарины, и если бы произошел взрыв, то произошла бы катастрофа чернобыльского масштаба с гибелью сотен и тысяч людей и радиоактивным заражением огромной территории. Видя безвыходность своего положения, преступник застрелился.

В 1998 г. военнослужащий срочной службы расстрелял своих сослуживцев из состава караула, охраняющего один из секретных объектов химкомбината «Маяк» в Челябинской области.

В 1998 г. пятеро матросов срочной службы, находившиеся на гарнизонной гауптвахте в поселке Белужья Губа, убили часового и завладели его автоматом. Ворвавшись в местную школу, они захватили в заложники тридцать учеников и девять учителей, потребовали оружие и самолет, чтобы улететь в Дагестан. С прибытием на остров подразделения спецназа они были разоружены и переданы органам военной прокуратуры. Правда, хотя Новоземельский полигон числится ядерным объектом, на нем с 1990 г. ядерного оружия нет.

В 1975 г. американская компания Union Oil Co. of California получила письмо с требованием 100 тыс. долл., в котором говорилось, что если эти деньги не будут выплачены, на одном из заводов компании будет взорвано спрятанное там ЯВУ.

В 1980-х гг. пуэрториканские сепаратисты угрожали осуществить теракты на ядерных объектах США.

В 1985 г. террористическая группа из США «Армянская научная группировка» угрожала уничтожить крупнейшие города Турции с помощью трех ЯВУ, которые, как утверждали террористы, имеются в их распоряжении.

В 1990–1992 гг. директора Курской и Смоленской АЭС получили письма с угрозами взрывов АЭС (конкретных требований не выдвигалось и никаких действий не последовало).

В 1993 г. один из лидеров чеченских сепаратистов Шамиль Басаев сообщил, что ему «предлагали купить» ЯВУ за полтора миллиона долларов.

В 1994 г. преступная группировка, после вынесения судом Литвы смертного приговора одному из ее лидеров, угрожала взорвать Игналинскую АЭС (взрывное устройство обнаружено не было).

В 1995 г. во Франции, в ходе волны промышленных протестов, саботажниками была засыпана соль во второй охлаждающий контур третьего энергоблока АЭС Блэйс.

В 1995 г. лидер сербов в Боснии Радован Караджич намеревался приобрести ЯВУ малой мощности.

В 1995 г. чеченскими экстремистами был размещен контейнер с радиоактивным изотопом цезий-137 в Измайловском парке в Москве (серьезной опасности не представлял и являлся средством прежде всего психологического воздействия).

В 1995 г. стало известно, что японская религиозная секта «Аум Синрикё» предполагала изготовить ЯВУ из урана, который она намеревалась добыть в Австралии, и совершить затем акты ЯТ.

В 1997 г. в России была обезврежена группа, намеревавшаяся захватить Курскую АЭС.

Осенью 2001 г. распространились слухи о том, что организация международного террориста Усамы бен Ладена пыталась – или даже смогла – приобрести ВОУ. Правительство Пакистана задержало ряд ученых, работавших в военной ядерной программе этой страны, по подозрению в сотрудничестве с бен Ладеном.

До настоящего времени не была проведена ни одна диверсия на АЭС. Психологический эффект такой акции будет исключительно высоким.

Необходимо постоянно помнить, что переоценка опасности, и особенно в анализе реальной значимости источников угрозы, столь же вредна, как и ее недооценка.

## **6.2. Основные типы ядерного терроризма**

В настоящее время можно рассматривать два возможных основных типа ядерного терроризма.

1. Хищение, изготовление и подрыв ядерного взрывного устройства (ЯВУ).
2. Диверсии на АЭС или угроза их осуществления (ядерный саботаж).

### **6.2.1. Хищение, изготовление и подрыв ядерного взрывного устройства**

Под ЯВУ понимается не полноценная ядерная бомба, а устройство, которое по своей силе и мощности уступает бомбам даже небольшой мощности, однако физические, экономические, социальные, политические последствия будут серьезными для государства, подвергшегося атаке террористов. *Захват готового ядерного боеприпаса, пригодного к применению, считается невозможным*, но не может быть полностью исключен. Даже в этом случае защитные механизмы ядерного боеприпаса делают вероятность его детонации близкой к нулевой.

При создании ядерного оружия его разработчики решали две основные задачи. Первая: заряд должен взрываться, когда надо. Вторая: он не должен взрываться, когда не надо. *Ни при каких обстоятельствах*. При неосторожном обращении (или саботаже!) на всех стадиях изготовления элементов, сборки, разборки, профилактики, хранения и во всех мыслимых нештатных ситуациях – пожар на складе, катастрофа бомбардировщика или ракетносителя, диверсия, похищение с попыткой несанкционированного использования – вероятность ядерного взрыва должна быть нулевой.

Вторая задача, несомненно, важнее первой. Если в реальной ядерной войне один или несколько зарядов не сработают, разница невелика. А если хоть один случайно взорвется в мирное время, последствия понятны. И до сих пор таких случаев не было, хотя происшествия с носителями происходили во всех ядерно-оружейных странах, включая серьезные катастрофы. У американцев для таких ситуаций было кодовое название «Сломанная стрела», и это словосочетание звучало в служебном эфире. Достаточно убедительным доказательством устойчивости ядерных боезарядов к внешним воздействиям служит и факт создания ядерных снарядов для обычной стволовой артиллерии – по ударной силе редко что сравнится с механическими нагрузками при выстреле из орудия (теперь эти боеприпасы вроде бы повсеместно сняты с вооружения).

Ядерный взрыв начинается с обычного химического взрыва, с имплозии, обжимающей урановую или плутониевую сферу и уменьшающей ее объем в несколько раз. Плотность делящегося материала в несколько раз увеличивается, критичность, пропорциональная квадрату плотности, зашкаливает за единицу, развивается цепная реакция, заряд начинает работать. А форма шара при сжатии ударной волной взрыва должна сохраняться *идеальной*. Поэтому разработка и производство изделий с самого начала опирается на виртуозные, прецизионные операции с обычной взрывчаткой и с системами ее многоточечного, скрупулезно скоординированного

во времени и пространстве подрыва. В ядерных Центрах работают не только крупные ученые-ядерщики, но и пиротехники высшего класса.

Наличие в каждой единице ядерного оружия большого количества обычных взрывчатых веществ и служит основным источником опасности случайного срабатывания. Эту опасность сознавали с самого начала. В первой серийной ядерной бомбе в СССР было даже использовано раздельное хранение заряда взрывчатого вещества для осуществления имплозии и узла с делящимся материалом. Окончательная сборка бомбы производилась только перед самым вылетом самолета для выполнения боевой задачи. Бомбы хранились в разобранном состоянии, причем их элементы помещались в разных складах.

Но тяжелым недостатком метода была, разумеется, необходимость частой сборки-разборки заряда вне заводских условий и резкое снижение боеготовности оружия. Оставался открытым и вопрос о безопасности полностью собранной бомбы. Для устранения этих недостатков в 1957–1960 гг. были разработаны заряды, удовлетворяющие условию ядерной безопасности при подрыве взрывчатого вещества в одной точке, что исчерпывало случайные ситуации и исключало ядерный взрыв при *аварийном* воздействии. Но застраховаться нужно и от попыток *диверсии*. С этой целью все критические цепи в автоматике заряда постоянно заблокированы, а в его конструкцию введены так называемые необслуживаемые зоны, закрывающиеся крышками со специальными замками, частично разрушающими заряд и выводящими его из строя при *любой* попытке ошибочного или злоумышленного вскрытия.

В целом же обеспечение безопасности зарядов – самая закрытая часть всех ядерных программ, поэтому, ясное дело, ничего конкретного об этом не публикуется, но догадываться на основании того, что известно, можно.

Решены были обе упомянутые выше задачи. И над второй работали головы того же класса, что над первой. Так что все эти киноштучки, бонды-шмонды с захватом и угрозой немедленного использования боеголовок и бомб – чушь. Никакие похитители активировать заряд и вызвать ядерную детонацию не смогут. Разобрать, *основательно* повозившись, наверное, разберут, но сложная, синхронизованная по микросекундам система подрыва с зашифрованным управлением при этом необратимо разрушится. Критмассы, даже по кускам, там нет, так что центральная часть – сердечник – лишь инертный металлический шарик. Если плутониевый, то порядочно радиотоксичный, но по поводу радиотоксичности плутония шума больше, чем дела. А разработать инициатор для центральной части современных параметров можно только пройдя весь путь, на который великие державы потратили десятки лет. Среди ученых атомщиков существует мнение, что полную синьку конструкции новей-

шего заряда можно хоть в газетах распечатать – воспроизвести ее в натуре никто из потенциальных ядерных террористов не сможет, слишком много там неочевидных технологических хитростей.

Необходимо подчеркнуть, что это не означает, что допустимы какие-то компромиссы и послабления в обеспечении режима нераспространения и борьбы с угрозой ядерного терроризма. Просто самая реальная угроза – терроризм *под государственным патронатом и прикрытием*, оперирующий необходимыми человеческими и материальными ресурсами и защищенный национальным суверенитетом.

Предположим, что террористическая организация намерена собрать ЯВУ собственной конструкции. Создание такого взрывного устройства считается маловероятным за счет действующего режима нераспространения (системы гарантий МАГАТЭ). Кроме того, возникают проблемы со средствами доставки, управления, контроля.

ЯВУ невозможно создать без делящегося материала.

В настоящее время имеются два оружейных делящихся материала:  $U^{235}$  и  $Pu^{239}$ . Из-за этого факта анализируются следующие три важных следствия [2, 10]:

1. Нарботать минимально необходимое для создания хотя бы одного ЯВУ количество оружейных материалов силами самих ядерных террористов с нуля или даже с использованием промежуточных технологических продуктов невозможно.

2. Все сообщения о пропаже и кражах любых материалов, кроме указанных двух, не связаны с проблемой ядерного терроризма.

3. Ядерная энергетика как таковая, за крайне незначительным исключением, интереса для ядерных террористов не представляет. Из низкообогащенного (до 5 % урана-235) урана в свежем ядерном топливе для подавляющего большинства энергетических реакторов создать ЯВУ принципиально нельзя, а из реакторного плутония, содержащегося в облученном топливе, вероятно, возможно, но эта возможность имеет чисто умозрительный характер. Даже если не обсуждать практически непреодолимых для террористов физических и технических трудностей по выделению, очистке, металлургии и конструктивному оформлению плутония, при конструировании такого ЯВУ даже у профессионала-ядерщика возникают серьезные проблемы. Тут и значительное содержание балластных материалов, и интенсивный нейтронный фон, и высокие собственные радиоактивность и тепловыделение и т. д. В результате даже высококлассный профессионал не создаст из реакторного плутония ничего, кроме громоздкого, маломощного устройства, к тому же очень сложного в эксплуатации.

Так как наработка оружейного плутония пропорциональна величине нейтронного потока, необходимо учитывать следующий фактор.

Особое внимание должно уделяться энергетическим ядерным реакторам с графитовым или тяжеловодным замедлителем, допускающим перегрузку топлива «на ходу» (типа российского РМБК и канадского CANDU). Реакторы такого типа имеют две особенности, благоприятствующие наработке оружейного плутония. Во-первых, они используют в качестве топлива уран низкого обогащения (тяжеловодные CANDU – вообще естественный уран), а эффективность накопления плутония в облученном уране находится в обратной зависимости от степени обогащения. Во-вторых, они открывают принципиальную возможность тайной реализации оптимального времени облучения урана для наработки оружейного плутония (около месяца), в то время как типичные для ядерной энергетики сроки облучения (годы) сильно «портят» оружейный плутоний, превращая его в реакторный.

Впрочем, таких реакторов в мировой атомной энергетике немного – по мощности лишь несколько процентов. Основу же составляют другие реакторы – корпусные легководные (PWR и ВВЭР). Перегрузить топливо «на ходу» у них нельзя, к тому же высокое, в сравнении с тяжеловодными и графитовыми реакторами, обогащение топлива по урану-235 делает его малоприспособленным для наработки оружейного плутония.

Представим себе, что тайно облучаются блоки из естественного урана в установленном дополнительном канале – активной зоне реактора – в режиме, оптимальном для накопления и последующего выделения оружейного плутония.

Это сразу же будет зафиксировано системами контроля реактора по изменению коэффициента размножения и приняты соответствующие меры.

Кроме того, возникают колоссальные трудности с выделением, очисткой, металлургией и конструктивной технологией плутония, не говоря уже о проблемах на этапе конструирования и изготовления ЯВУ.

Имплозиционная схема несравненно сложнее в практической реализации.

Надо точно определить состав, количество и размеры обжимающих линз из химического взрывчатого вещества, гарантировать идеальную синхронизацию их подрыва, в строго определенный момент обеспечить включение инициирующего нейтронного источника. Стоит не выполнить хотя бы одно из этих условий (а есть и другие), как ЯВУ просто не сработает.

Короче говоря, вероятность того, что террористы сумеют сконструировать, укомплектовать, собрать и проверить работоспособное имплозионное ЯВУ на основе плутония, столь же невелика, как и того, что они сумеют достать необходимое его количество, о чем говорилось выше.

А вот урановое ЯВУ пушечного типа по конструкции и технологии сборки гораздо проще. Тот же факт, что по эффективности использования расщепляющегося материала оно сильно уступит имплозионному плутониевому, вряд ли сильно огорчит террориста: факт наличия работоспособного ЯВУ в его руках гораздо важнее тактико-технических характеристик.

Несомненно, одним из главных препятствий на пути создания террористической группой такого ЯВУ является весьма значительное количество необходимого для этого урана-235. С учетом неизбежных технологических потерь потребуется не менее 40...45 кг в пересчете на чистый материал, а это очень много. Хотя, разумеется, и процедура проектирования и изготовления пушечного уранового ЯВУ тоже достаточно сложна.

Ситуация с ураном-235 оружейной чистоты несколько иная. С одной стороны, его, кроме как на специализированных промышленных комплексах, получить нельзя даже в принципе.

Однако, в отличие от плутония, ядерное оружие и связанная с ним инфраструктура – не единственный источник, где можно встретить высокообогащенный уран-235. Он является также топливом для некоторых типов ядерных реакторов – исследовательских и транспортных.

#### **6.2.2. Возможность хищения ядерных материалов (ЯМ) на основных стадиях ЯТЦ**

При классификации высокорисковых объектов использован принцип основного вида опасности объектов. Деление на классы является чисто условным. При классификации объектов с несколькими поражающими факторами следует учитывать прежде всего доминирующий фактор.

Рассмотрим только радиационно-опасные объекты:

1. АЭС с реакторами на тепловых нейтронах, имеющими ядерное топливо с обогащением по U-235 до 5 % (ВВЭР, РБМК);
2. АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, с обогащением ~20 % (БР);
3. исследовательские ядерные реакторы, с обогащением ~90 %;
4. заводы по производству ядерного топлива;
5. заводы по переработке и обогащению ядерного топлива;
6. заводы по обработке ядерных отходов;
7. заводы ядерной энергетики и пр.;
8. урановые рудники;
9. склады радиоактивной руды;
10. хранилища ядерных отходов;
11. транспортные средства с ядерными двигательными установками;
12. транспортные средства с радиоактивными грузами;
13. радиационно опасная военная техника;
14. радиационно опасные объекты и пр.

Рассматриваемые далее вопросы в полном объеме рассмотрены в работах [1, 30]. Познакомим читателя с результатами этих исследований.

#### **А. Открытый (разомкнутый) ЯТЦ**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство окта-оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) обогащение  $UF_6$ ;
- 5) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 6) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 7) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 8) окончательное захоронение ОЯТ, в будущем, в геологических формациях.

#### **Б. Замкнутый ЯТЦ с использованием регенерированного урана**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство окта-оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) обогащение  $UF_6$ ;
- 5) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 6) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 7) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 8) переработка ОЯТ с выделением урана, плутония и РАО;
- 9) возвращение регенерированного урана на стадии конверсии и обогащения;
- 10) размещение плутония в спецхранилищах;
- 11) окончательное захоронение РАО, в будущем, в геологических формациях.

#### **В. Замкнутый ЯТЦ с использованием регенерированного урана и плутония**

Его основные стадии:

- 1) добыча урановой руды;
- 2) производство окта-оксида урана  $U_3O_8$ ;
- 3) конверсия  $U_3O_8$  в  $UF_6$ ;
- 4) изготовление ядерного топлива (ТВЭЛы и ТВС);
- 5) использование ядерного топлива в ядерных реакторах;
- 6) хранение ОЯТ в приреакторных хранилищах;
- 7) переработка ОЯТ с выделением урана, плутония и РАО;



- 8) возвращение регенерированного урана на стадии конверсии и обогащения;
- 9) изготовление смешанного уран-плутониевого оксидного топлива (МОХ-топлива) на основе обогащенного урана и плутония;
- 10) окончательное захоронение РАО, в будущем, в геологических формациях.

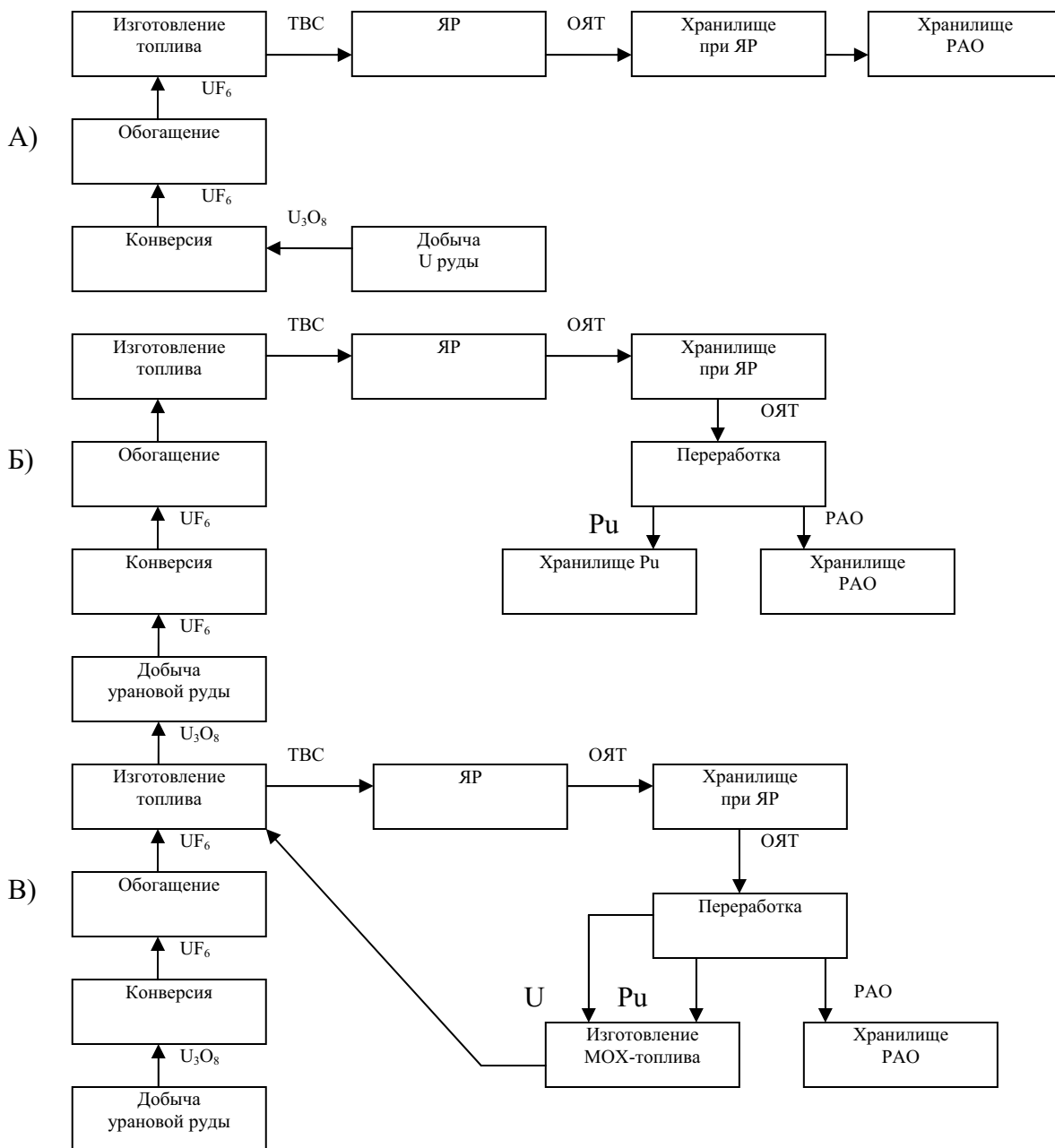


Рис. 7.1. Схемы открытого (А) и двух вариантов замкнутого (Б, В) ЯТЦ

В настоящее время только семь государств способны перерабатывать ОЯТ: США, Великобритания, Франция, Россия, Китай (ядерные державы), Япония и Индия. Но США не перерабатывают ОЯТ АЭС,

а только хранят его до тех пор, пока не будет развита технология переработки, эффективная и безопасная с точки зрения нераспространения.

Ядерные технологии имеют дело с расщепляющимися ядерными материалами, которые потенциально могут быть использованы в качестве заряда ядерного взрывного устройства. Поэтому одной из главных задач развития и эксплуатации ядерных технологий является обеспечение контроля за ядерными материалами на всех стадиях ЯТЦ с целью недопущения несанкционированного использования ядерных материалов в противозаконных целях.

Существует три пути переключения ядерных материалов с гражданского использования, главным образом энергетического использования на АЭС, на применение в военных целях, в виде ядерного или радиологического оружия.

*1. Насильственное хищение в результате террористической атаки извне на ядерный объект или транспортное средство, в котором находятся ядерные материалы.* Для предотвращения насильственного хищения ядерных материалов создаются системы их физической защиты.

Физическая защита ядерных объектов включает в себя пять систем:

- систему физических барьеров, препятствующих проникновению на территорию объекта и в помещения, где находятся ядерные материалы;
- систему датчиков проникновения через внешний периметр ограждения объекта и через внутренние барьеры, препятствующие прохождению нарушителей к хранилищам ядерных материалов;
- систему телевизионного наблюдения за зоной, прилегающей к внешнему периметру объекта, за внутренними помещениями объекта в зоне размещения или использования ядерных материалов;
- систему специальных средств, замедляющих продвижение нарушителей по территории объекта (выброс химических газов, быстро твердеющей полимерной пены);
- систему вооруженной охраны для обнаружения, перехвата и задержания нарушителей.

*2. Ненасильственное, скрытое хищение ядерных материалов персоналом ядерного объекта, например постепенное изъятие небольших количеств материала в течение длительного времени.* Для предотвращения скрытого хищения ядерных материалов персоналом ядерных объектов создаются системы учета и контроля ядерных материалов. Эти системы включают следующие меры:

- видеонадзор за ядерными материалами в виде учетных единиц хранения (контейнеры);
- приборные и административные меры контроля за доступом в хранилища ядерных материалов (например, «правило двух»);

- разбиение объекта на зоны материального баланса с системой датчиков, контролирующих перемещения ядерных материалов;
- компьютеризированную систему учета ядерных материалов с удаленными терминалами в ключевых точках зон материального баланса с центральной ЭВМ, куда сходятся данные с терминалов и которая оснащена средствами защиты информации;
- периодическую физическую инвентаризацию ядерных материалов в учетных единицах хранения и в балк-форме; использование индикаторов попытки вскрытия для проверки целостности контейнеров; выборочный контроль содержимого контейнеров и материалов в балк-форме методами разрушающего и неразрушающего анализа.

3. *Скрытое переключение ядерных материалов на военные цели, санкционированное национальным правительством.* Для предотвращения переключения ядерных материалов, санкционированного государством, существует система международных гарантий и договоров, контролирующая мирное использование ядерных материалов:

- договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО), вступивший в силу в 1970 г. и бессрочно продленный в 1995 г.; каждые 5 лет проходят конференции участников ДНЯО, на которых обсуждается его выполнение;
- региональные договоры о нераспространении ядерного оружия (договора Тлателолко, Раротонга, система гарантий Евратома).

Комитет Цангера («Группа ядерных поставщиков»), контролирующей экспорт и импорт ядерных материалов, технологий и оборудования с точки зрения нераспространения ядерного оружия.

Основной механизм контроля на государственном уровне – периодические инспекции ядерных объектов экспертами МАГАТЭ, которые осуществляют независимую проверку количества ядерных материалов на объектах, находящихся под юрисдикцией МАГАТЭ.

### ***Привлекательность ядерных материалов на разных стадиях ЯТЦ***

Факторы, которые являются привлекательными для террористов при вероятности хищения ЯМ на различных стадиях ЯТЦ:

- 1) количество и качество ЯМ, необходимых для создания ядерных взрывчатых устройств;
- 2) доступность;
- 3) физическое и химическое состояние;
- 4) радиоактивность материалов;

5) возможность обнаружения.

Рассмотрим основные цепочки ЯТЦ с точки зрения привлекательности для террористов.

**1. Добыча и первичная обработка урановой руды.** Уязвимость к краже. Для производства 25 кг оружейного урана требуется около 5 000 кг природного урана или 5 000 т урановой руды. Трудно украсть незаметно такое количество урановой руды. Уязвимость низкая. Уязвимость к переключению персоналом: урановые рудники и предприятия по первичной обработке урановой руды находятся вне гарантий МАГАТЭ. Уязвимость велика. Риск распространения ядерного оружия: низкий из-за невозможности использования природного урана в ядерном взрывном устройстве.

**2. Перевод в ядерное топливо или в гексафторид урана для обогащения.** Уязвимость к краже: мала, как и при добыче урановой руды. Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки предприятий под гарантии МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: низкий, из-за невозможности использования природного урана в ядерном взрывном устройстве.

**3. Обогащение урана изотопом  $^{235}\text{U}$ .** Уязвимость к краже велика. Для создания ядерного взрывного устройства достаточно 25 кг оружейного урана (90...95 %  $^{235}\text{U}$ ). С таким весом может справиться даже один человек. Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки предприятий под гарантии МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: высокий. Наложено неофициальное эмбарго на экспорт обогачительных технологий.

**4. Изготовление ядерного топлива (таблетки, твэлы, ТВС).** Уязвимость к краже: низкая. Одна ТВС весит 300...500 кг. Потребуется специальный транспорт для перевозки ТВС. Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки предприятий под гарантии МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: меняется от низкого до высокого, в зависимости от обогащения топлива для различных типов ядерных реакторов.

**5. Использование ядерного топлива в ядерных реакторах.** Уязвимость к краже: низкая. Это связано с весом ТВС, ее радиоактивностью и размещением внутри корпуса ядерного реактора. Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки АЭС или реактора под гарантии МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: меняется от низкого до высокого, в зависимости от обогащения топлива и от наличия установок для переработки ОЯТ.

**6. Хранилище ОЯТ.** Уязвимость к краже: низкая. Это связано с весом, радиоактивностью и остаточным тепловыделением ТВС. Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки хранилища под гарантии

МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: меняется от низкого до высокого, в зависимости от наличия установок для переработки ОЯТ.

**7. Переработка ОЯТ.** Уязвимость к краже: высокая. Технология переработки ОЯТ имеет дело с сильно радиоактивным и тепловыделяющим материалом. Поэтому используется дистанционное оборудование, отделяющее персонал от ядерных материалов. Однако на установках могут быть участки, где плутонийсодержащие материалы более доступны для кражи. Например, баллоны с Pu-раствором (2,5 кг Pu-раствора, вес баллона – 14 кг). Уязвимость к переключению персоналом: зависит от постановки перерабатывающей установки под гарантии МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия: высокий. На перерабатывающих установках может быть произведен плутоний: либо оружейного изотопного состава, либо энергетический плутоний несколько худшего изотопного состава, который, тем не менее, может быть использован в ядерных взрывных устройствах уменьшенной мощности. Группа ядерных поставщиков наложила неофициальное эмбарго на экспорт перерабатывающих технологий.

**8. Захоронение радиоактивных отходов.** Уязвимость к краже: низкая. Это связано с высокой радиоактивностью и тепловыделением РАО, а также с малым содержанием делящихся материалов. Уязвимость к переключению персоналом: низкая. Объясняется малым содержанием делящихся материалов. Риск распространения ядерного оружия: низкий. Это связано с высокой радиоактивностью и тепловыделением РАО с малым содержанием делящихся изотопов.

Таблица 6.3

*Опасность стадий ЯТЦ*

Стадия ЯТЦ	Уязвимость к краже	Уязвимость к переключению	Риск распространения
Добыча руды	Низкая	Высокая	Низкий
Конверсия в UF <sub>6</sub>	Низкая	В/Н (МАГАТЭ)	Низкий
Обогащение	Высокая	В/Н (МАГАТЭ)	Высокий
Изготовление ТВС	Низкая	В/Н (МАГАТЭ)	В/Н (обогащение)
Использование на АЭС	Низкая	В/Н (МАГАТЭ)	В/Н (обогащение)
Хранение ОТВС	Низкая	В/Н (МАГАТЭ)	В/Н (обогащение)
Переработка ОЯТ	Высокая	В/Н (МАГАТЭ)	Высокий
Захоронение РАО	Низкая	Низкая	Низкий

*Примечание. В/Н (МАГАТЭ) – от высокого до низкого, в зависимости от наличия контроля со стороны МАГАТЭ.*

Основными категориями нарушителей являются внешние нарушители, внутренние и внешние нарушители в сговоре с внутренними.

*Внешние нарушители:*

- террористы;
- преступные элементы;
- антиядерные экстремисты;
- психически неуравновешенные люди, а также люди, подверженные «радиофобии», то есть боязни всего, что связано с радиоактивностью, что может подтолкнуть их к пособничеству нарушителям.

*Внутренние нарушители:*

- агрессивно настроенный персонал ЯОО;
- сотрудники, принуждаемые внешними нарушителями к содействию (путем подкупа, шантажа или угроз применения силы);
- сотрудники, имеющие преступные наклонности.

*К целям, которые могут преследовать нарушители, можно отнести:*

- хищение ЯМ;
- диверсию, террористический акт в отношении ЯМ, ЯУ, ПХ ЯМ;
- захват заложников, захват ЯУ, ЯМ с целью выдвижения требований путем угрозы совершения несанкционированных действий;
- воспрепятствование нормальной деятельности ЯОО;
- хищение конфиденциальной информации.

*Мотивы, которые могут побудить потенциальных нарушителей к совершению преступных действий в отношении объекта:*

- политические (идеологические) – связаны с политической или философской системой взглядов человека;
- экономические – вызваны неудовлетворенностью уровнем заработной платы и связаны с желанием получения финансовой выгоды;
- экологические – связаны с выдвижением требований о прекращении деятельности объекта;
- личные – связаны со специфическими обстоятельствами, характерными для отдельных лиц.

*Для проникновения в охраняемые зоны внешние нарушители могут использовать:*

- вооружение, взрывчатые и зажигательные вещества, специальные средства, транспортные средства (летательные аппараты, автомобили, плавсредства), снаряжение, специальные инструменты, другое оборудование;
- финансовые средства для подкупа персонала ЯОО;
- содействие со стороны персонала ЯОО;
- недостатки в системе физической защиты.

*Тактика действий при проникновении в охраняемые зоны может быть:*

- насильственная – с применением насилия по отношению к людям и (или) с повреждением инженерно-технических средств.

*Источниками угроз для ядерно-опасных объектов являются:*

- ошибочные или неправильные действия персонала;
- умышленные несанкционированные действия нарушителей или персонала ЯОО;
- отказы, неисправности оборудования ЯОО, обеспечивающего работоспособность и безопасность;
- стихийные бедствия;
- техногенные катастрофы.

Угрозы для ядерно-опасных объектов, связанные с действиями нарушителя (нарушителей), могут быть разделены на внешние, внутренние и комбинированные.

**Внешние угрозы** исходят от лиц, не входящих в состав персонала объекта и не имеющих права доступа на территорию объекта. Внешние угрозы реализуются внешним нарушителем.

**Внутренние угрозы** исходят от персонала объекта и других лиц, допущенных в охраняемые зоны объекта. Внутренние угрозы реализуются внутренним нарушителем.

**Комбинированные угрозы** исходят одновременно от внешних и внутренних нарушителей, действующих совместно (в сговоре).

К вероятным способам осуществления угроз ЯОО со стороны внешних нарушителей можно отнести следующие:

- нападение и проникновение на ЯОО группы террористов с использованием любых возможных транспортных средств, оружия, взрывчатых и зажигательных веществ;
- проникновение группы (толпы) экстремистски настроенных противников атомной энергетики или других видов ядерной деятельности (антиядерных экстремистов) с целью занять ЯУ и совершить несанкционированные действия в связи с выдвижением политических, экономических или экологических требований;
- повреждение ими жизненно важных для ЯОО сооружений и оборудования, расположенных за пределами защищенной зоны, способное привести к опасным радиационным последствиям;
- дистанционный вывод из строя различных электронных систем и систем связи.

К вероятным способам осуществления угроз ЯОО со стороны внутренних нарушителей можно отнести следующие:

- хищение ЯМ;

- рассеяние ЯМ, в том числе с помощью взрыва;
  - повреждение персоналом ЯОО оборудования, устройств или какого-либо их элемента, способное привести к опасным радиационным последствиям;
  - вмешательство в работу вычислительной техники, участвующей в управлении работой ЯУ, или инженерно-технических средств, входящих в состав СФЗ;
  - вывод из строя или изменение заданных параметров используемых технических средств СФЗ любыми доступными способами;
  - воздействие на технические средства СФЗ с целью их «блокировки».
- Приведенный перечень воздействий не является исчерпывающим, он может дополняться, исходя из специфики конкретного объекта и особенностей его территориального расположения.

Внутренние нарушители опасны также тем, что они имеют высокую профессиональную квалификацию, могут обладать не только знанием уязвимых мест объекта и СФЗ, но и имеют право доступа к ним и к соответствующей информации.

Общая модель нарушителя включает пять обобщенных типов потенциальных нарушителей.

*Внешний нарушитель первого типа* – одиночный нарушитель или малочисленная группа уголовных элементов, которые преследуют корыстные интересы. Такой нарушитель характеризуется:

- общим уровнем осведомленности о структуре и составе СФЗ (прежде всего, о технических средствах на периметре) и о расположении предметов диверсии и хищения на территории объекта;
- высокой вероятностью наличия оружия, взрывчатых и зажигательных веществ;
- стремлением избежать вооруженного конфликта с силами охраны.

Целью такого нарушителя является совершение акции (диверсии или хищения) с последующим уходом с территории объекта. Наиболее вероятная тактика действий – скрытая. Нарушитель этого типа может вступать в сговор с личным составом подразделения охраны с целью сокрытия факта своего проникновения на объект.

*Внешний нарушитель второго типа* – диверсионно-террористическая группа. Такой нарушитель характеризуется:

- общим уровнем осведомленности о СФЗ, основанным на ее визуальном изучении, и о расположении предметов диверсии и хищения на территории объекта;
- высокой вероятностью наличия холодного и огнестрельного оружия (в том числе автоматического), взрывчатых и зажигательных веществ;



- высоким уровнем подготовки к преодолению физических барьеров, сигнально-заградительных и сигнализационных рубежей;
- готовностью вступить в открытый вооруженный конфликт с подразделениями охраны ЯОО;
- возможностью (в зависимости от численности) разделяться на группы, решающие различные тактические задачи;
- возможным наличием в группе лиц, способных пожертвовать собой для достижения целей акции.

Наиболее вероятная тактика действий – насильственная, с вооруженным нападением и прорывом системы охраны (в том числе с применением транспортных средств), захват заложников (по необходимости). Нарушитель этого типа может вступать в сговор с персоналом объекта или личным составом подразделений охраны для получения дополнительной информации.

*Внутренний нарушитель первого типа* – сотрудник ядерно-опасного объекта из числа обслуживающего персонала, имеющий право доступа на территорию и внутрь вспомогательных сооружений, но не имеющий права постоянного доступа к местам хранения ядерных материалов и уязвимым местам ЯУ. Возможная мотивация – личные мотивы, шантаж с чьей-либо стороны, преследование корыстных целей, религиозный экстремизм. Этот нарушитель характеризуется:

- общим уровнем осведомленности о системе охраны и высоким – о расположении отдельных предметов диверсии и хищения на территории объекта (при этом его уровень подготовленности к преодолению СФЗ низкий);
- возможным наличием огнестрельного оружия, взрывчатых и зажигательных веществ;
- неподготовленностью к вооруженному конфликту с подразделениями охраны ЯОО.

Наиболее вероятная тактика действия – скрытая. Такой нарушитель может являться источником информации о ЯОО и СФЗ для внешних нарушителей, а также соучастником акций внутренних нарушителей других типов.

*Внутренний нарушитель второго типа* – сотрудник ЯОО, имеющий непосредственный доступ к предметам диверсии и хищения, в остальном характеризуется так же, как внутренний нарушитель первого типа.

Наиболее вероятная тактика действий – скрытая. Например, перемещение ядерного материала за пределы хранилища с его последующим выносом за территорию ЯОО – скрыто или по подложным документам). Нарушитель этого типа может вступать в сговор как с внешними нару-

шителями для передачи им информации, так и с внутренними нарушителями первого типа для выноса (вывоза) с территории ЯОО похищенного ядерного материала.

*Внутренний нарушитель третьего типа* – личный состав подразделения охраны или сотрудник службы безопасности ЯОО. Нарушитель этого типа характеризуется:

- высоким уровнем осведомленности о расположении предметов диверсии и хищения, построении и функционировании СФЗ;
- доступом к СФЗ и аппаратуре управления ею и, как следствие, высоким уровнем подготовленности к скрытому преодолению рубежей СФЗ;
- наличием личного оружия и возможностью его санкционированного проноса и применения в пределах ЯОО;
- подготовленностью к вооруженному конфликту с силами охраны ЯОО.

Наиболее вероятная тактика действий – скрытая (в том числе с отключением технических средств СФЗ). Нарушитель этого типа может вступать в сговор как с внешними нарушителями, так и с внутренними нарушителями других типов, используя их в качестве исполнителей или пособников акций, или сам может являться пособником.

В части эффективности национальных гарантий большую роль играет человеческий фактор. Влияние «человеческих ошибок» на безопасность обращения с ЯМ чрезвычайно серьезно. Поэтому необходимо организовать работу системы защиты ядерного объекта так, чтобы максимально снизить возможное количество ошибок и их последствия.

Неотъемлемым компонентом системы защиты является отбор персонала, оценка и проверка его надежности. Персонал проверяют на благонадежность, профессиональную компетентность и мотивацию. Необходимо проводить постоянное обучение персонала и повышение его квалификации. Обучение персонала должно предусматривать как освоение технических данных об особенностях и возможностях аппаратуры, используемой для контроля и учета, так и знание психологии поведения человека в различных ситуациях.

**Высокий уровень эффективности национальных гарантий подразумевает:**

- квалификационную и психологическую подготовленность каждого работника ЯОО для работы с ЯМ и ядерными установками;
- наличие культуры безопасного обращения с ЯМ на ЯОО, внимательного отношения к вопросам безопасного обращения с ЯМ, атмосферы открытости, в которой персонал своевременно бы инфор-

мировал об условиях, могущих привести к снижению безопасности или неправильному обращению с ЯМ.

Специалисты ЯОО должны иметь мышление, направленное, в первую очередь, на безопасное, а значит, только мирное использование ЯМ. Такое отношение к ЯМ предусматривает стремление к совершенствованию процедур обращения с ЯМ и исключает проявление беспечности по вопросам безопасности ЯМ.

Но при этом невозможно полностью избежать ошибок персонала. Анализ причин аварий (почти все виды промышленности) показывает, что от 30 до 60 % всех аварий произошло по причине человеческого фактора. Кроме того, вероятность ошибки персонала значительно возрастает по ходу аварии или при наличии аварийной ситуации. Таким образом, ошибки человека не только создают проблемы, дискредитирующие системы физической защиты, но они ухудшают ситуацию до того, как она пойдет на улучшение.

Вот типы подобных ошибок:

- не закрыта охраняемая зона;
- некачественный ремонт, настройка оборудования допуска, измерений, контроля, наблюдения или другого оборудования ФЗ и УК ЯМ (оборудование оставлено в разобранном состоянии);
- неправильная эксплуатация оборудования;
- нарушение процедуры;
- выполнение работы на скорую руку;
- недостаточность общения (передачи информации);
- недостаточное внимание к мелочам (мелочи вырастают в большие проблемы);
- слабое ведение хозяйства (в офисах и на производственных площадках);
- неформальный стиль общения с коллегами по работе;
- неправильное обращение с компьютерами.

Все вышесказанное может привести к инцидентам на объектах и нарушениям охраны и подорвать работоспособность систем ФЗ и УК ЯМ. Есть четыре правила для работников ядерных объектов, которым важно следовать:

- знать свою работу;
- быть бдительным;
- работать официально;
- немедленно докладывать о допущенной ошибке.

Самостоятельный доклад о допущенной ошибке является свидетельством чрезвычайно ответственного отношения к безопасности на пред-

приятии и наилучшим способом борьбы с ошибками. На предприятии будет гораздо меньше серьезных проблем, если об ошибке немедленно доложено и предприняты корректирующие меры.

Многие специалисты не полностью осознают, насколько велика доля происшествий и проблем, возникающих под воздействием человеческого фактора. Однако статистика происшествий показывает, что эта доля на ЯОО является определяющей. Рассмотрим статистические данные Министерства энергетики США (табл. 6.3) о происшествиях на ядерных объектах по производству ЯМ. Основная причина происшествий – негативное воздействие человеческого фактора.

Таблица 6.4

*Происшествия на ядерных объектах по производству ЯМ  
(по данным Министерства энергетики США)*

Непосредственная причина	Общее количество	Доля, %
Сбои в работе оборудования	17	14
Конструктивные особенности оборудования	1	1
Проблемы, вызванные порядком использования инструкций по эксплуатации	11	9
Ошибки персонала	50	42
Проблемы, связанные с управлением и ведением дел	39	32
Воздействие внешних факторов	1	1
Радиологическая опасность	1	1
Всего	120	100

В табл. 6.5 приведено соотношение видов неправильных действий персонала российских АЭС (январь 1999 г. – март 2000 г.).

Таблица 6.5

*Соотношение видов неправильных (ошибочных) действий персонала российских АЭС*

Непосредственная причина	Общее количество	Доля, %
Неосознанные нарушения	16	47
Ошибки по незнанию	7	21
Осознанные нарушения	11	32
Всего рассмотрено	34	100

Напрашивается вывод: ввиду важности специального обращения с ЯМ необходимо, чтобы ядерно-опасные объекты стали предприятиями высокой культуры безопасности и высокой культуры обращения с ЯМ.

### **6.2.3. Диверсии на АЭС или угроза их осуществления (ядерный саботаж)**

Наиболее вероятные угрозы реакторам АЭС:

- 1) прорыв транспортных средств, начиненных взрывчаткой;
- 2) диверсионные действия персонала станций;
- 3) вооруженная атака с возможной помощью сотрудников АЭС и захватом станции.

В случае нападения террористов необходима консультация или присутствие специалистов, которые указали бы как вывести из строя важные системы жизнеобеспечения с целью расплавления и возможного теплового взрыва активной зоны с выбросом радиоактивных материалов за пределы станции.

Ядерная энергетика в основном базируется на реакторах типа ВВЭР, поэтому проведем анализ на их примере.

Наиболее важная цепочка событий:

- 1) разгон мощности;
- 2) повреждение систем охлаждения (трубопроводы, насосы и т. д.);
- 3) потеря теплоносителя и возможное расплавление активной зоны и тепловой взрыв;
- 4) разрушение корпуса реактора и реакторного здания с последующим выбросом радиоактивных продуктов деления.

Как среагирует реактор?

При создании систем безопасности были использованы основные принципы, ценность которых доказана в инженерной практике: резервирование, физическое разделение, разнообразие, независимость каналов и систем безопасности, свойство самозащитности.

Системы безопасности подразделяются на защитные, локализирующие, управляющие и обеспечивающие.

Защитные системы предотвращают или ограничивают повреждение реактора. К ним относятся системы аварийной остановки реактора и аварийного отвода тепла от него.

Локализирующие системы предназначены для предотвращения или ограничения распространения выделяющихся при авариях радиоактивных веществ.

Управляющие системы осуществляют приведение в действие систем безопасности или контроль и управление в процессе выполнения заданных функций.

Обеспечивающие системы снабжают системы безопасности энергией, рабочей средой и создают условия для их функционирования.

Не вдаваясь в подробности технической стороны вопроса, рассмотрим основные принципы, которые реализованы в данной установке.

В основу безопасности ВВЭР положено последовательное внедрение свойств внутренней самозащищенности и использование пассивных систем безопасности, обеспечивающих устойчивость реактора к ошибкам персонала и отказам оборудования. Внутренняя безопасность реализована на использовании естественных законов природы (гравитация, естественная циркуляция, испарение). Привлекательность использования естественных законов в концепции безопасности – постоянство их действия, независимость от внешних факторов.

В реакторе ВВЭР при повышении мощности, температуры или появлении пара происходит самоглушение реактора, и процесс прекращается за счет отрицательных обратных связей. Поэтому быстрое самопроизвольное увеличение мощности исключено и тепловой взрыв реактора невозможен. Своей физической природой реактор препятствует разгону мощности. Он может быть сравнен с тяжелой вагонеткой, которая сама в гору не пойдет.

Саморегулирование и самоограничение, самоциркуляция и самоохладение – эти свойства легко проверяемы и позволяют реактору самому спасти себя в трудных ситуациях (по терминологии МАГАТЭ – «всепрощающий реактор»).

Увеличено число органов регулирования. Предусмотрена система быстрого ввода бора (с использованием пассивных принципов) при отказе основной системы АЗ. Во всех режимах работы мощностной коэффициент реактивности активной зоны реактора всегда отрицателен; предел безопасной эксплуатации с точки зрения повреждения твэлов в новом проекте ужесточен и установлен на один порядок ниже, чем было для серийных блоков с ВВЭР-1000.

Важнейшей особенностью нового проекта является наличие системы пассивного отвода тепла, которая действует во всех режимах проектных и запроектных аварий и предназначена для гарантированного отвода тепла от активной зоны реактора при потере активных систем расхолаживания или всех источников электропитания. Предусмотрена система залива активной зоны при авариях с потерей теплоносителя, исключающая обезвоживание активной зоны.

В проекте, в качестве основной локализирующей системы принята двойная защитная оболочка. Расчетное избыточное давление внутренней оболочки 0,4 МПа, проектная температура 150 °С. Допустимая утечка из внутренней оболочки не более 0,3 % объема среды в сутки. Кроме того, в комплекс локализирующих систем безопасности входит система аварийного сброса среды из оболочки и очистки выбросов на фильтрах, а также система улавливания и удержания расплавленного топлива.

## **СВОЙСТВА ВНУТРЕННЕЙ САМОЗАЩИЩЕННОСТИ РЕАКТОРА**

- Разнообразие, независимость, резервирование, физическое разделение – принципы эшелонированных защитных систем безопасности.
- Внутренняя самозащищенность, многократность, пассивность систем глушения и охлаждения – естественные принципы работы реактора, обеспечивают его неуязвимость в случае ошибок персонала, отказа (дефектов) оборудования.
- Прочный корпус реактора, прочный страховочный корпус, герметичный второй контур исключают потерю воды из реактора. Активная зона под уровнем воды – РАСПЛАВЛЕНИЕ ТОПЛИВА ИСКЛЮЧЕНО.
- Свойство самоглушения исключает разгон реактора – ВЗРЫВ НЕВОЗМОЖЕН.

Кроме того, реактор не будет поврежден при падении лайнера ТУ-154 весом около 100 т и при воздействии ударной волны (взрыв грузовика с тротилом 5 т).

Таким образом, защитные системы безопасности и свойства внутренней самозащищенности реактора являются практически непреодолимым барьером на пути диверсантов.

Необходимо помнить, что любой террористический акт против АЭС может иметь серьезные политико-психологические последствия уже просто потому, что общество крайне болезненно воспринимает безопасность АЭС.

Теперь о чернобыльской аварии, которая произошла на уран-графитовом реакторе. Более подробно, как это было, почему это было, мы рассмотрим в разделе «Радиационный терроризм», т. к. эта авария сопровождалась значительным выбросом радиоактивности... и весьма поучительными уроками. Здесь же ограничимся следующим.

Для устранения причин, обусловивших аварию на чернобыльской АЭС, в кратчайшие сроки были разработаны и реализованы технические и организационные мероприятия. Благодаря их реализации на действующих реакторах теперь исключена возможность неуправляемого разгона при ошибочных действиях персонала. Следует также отметить, что проверявшие наши АЭС специальные комиссии МАГАТЭ признали их полностью соответствующими международным требованиям по безопасности.

При рассмотрении возможности сотрудничества высококлассных специалистов в целях предотвращения необходимо иметь в виду, что, кроме ядерщиков, нужны электронщики, химики, металлурги, конструкторы, материаловеды, технологи, объединенные в коллектив.

Собрать такой коллектив весьма проблематично.

#### **6.2.4. Методы оценки уязвимости ЯЭУ в связи с действиями террористов [38]**

Основные цели оценки уязвимости ЯЭУ состоят в том, чтобы лучше понять угрозы в отношении ЯЭУ и ее уязвимость, определить приемлемые уровни риска и включить, контрмеры, чтобы ликвидировать идентифицированную уязвимость ЯЭУ. Результатом выполнения оценки уязвимости ЯЭУ будет:

- определение ключевых критических объектов/систем ядерной инфраструктуры (особенно ЯЭУ и ключевых критических объектов/систем исследовательских реакторов);
- идентификация уязвимости жизненно важных, но ослабленных элементов ЯЭУ и своевременная разработка превентивных планов и эффективных ответных мер в чрезвычайных обстоятельствах;
- разработка методологии и методов для интегрального процесса управления риском;
- развитие и поддержка новых навыков и знаний;
- инициализация новых акций в промышленности и регулировании, а также стандартов для ответных мер на ЯЭУ;
- внедрение рентабельных и эффективных контрмер и программ обучения;
- формирование осознания необходимости введения новых стандартов и принципов регулирования.

Исследования, связанные с оценкой уязвимости, приведут к увеличению безопасности ЯЭУ, их надежности и коэффициента готовности. Предотвращение останова ЯЭУ из-за террористических атак или саботажа поможет избежать потерь во всей национальной экономике. Начальные оценки только экономических потерь из-за закрытия ЯЭУ вследствие террористических нападений и/или саботажа исчисляются миллионами долларов, в зависимости от размера и типа затронутых областей.

Безопасность, защищенность и надежность критической энергетической (ядерной) инфраструктуры (АЭС) становится жизненно важной национальной задачей.

Методология оценки уязвимости (VA) и новые методы решения могут помочь всему национальному энергетическому сектору идентифицировать и понимать террористические угрозы и уязвимость критической инфраструктуры. Кроме того, методология VA могла бы помочь национальным органам и агентствам внедрять информацию по вопросам уязвимости и риска, а также создавать программы обучения для персонала критических объектов и систем с целью усилить защищенность и безопасную работу всей энергетической инфраструктуры.



### *Разработка сценариев анализа угрозы*

Выбор запускающего события – важный начальный шаг для определения надлежащих сценариев анализа угрозы. Учреждение точного сценария анализа угрозы является наиболее важным звеном в успешной оценке уязвимости (риска). Фактически ТЕ может быть определено как спусковой механизм в сценарии, имеющем высокий потенциал в порождении неблагоприятных последствий. Примерами спусковых механизмов могут быть: падение самолета на контеймент ЯЭУ, ракетный удар по бассейну хранения ОЯТ, внутренняя бомбежка в щитовой ядерного энергоблока и т. д.

Самым важным моментом для понимания террористических угроз является всесторонний обзор вероятных сценариев террористических атак. Для развития этого специального типа исследований сценарий был определен как ряд неожиданных, но вероятных и связанных по времени неблагоприятных событий.

### *Новая модель оценки уязвимости ЯЭУ*

В общем, уязвимость критического ядерного объекта может быть определена как вероятность (предсказанной) террористической атаки, умноженная на вероятность отказа защиты критического объекта или неэффективности системы защиты. Для ЯЭУ это может быть вероятность отказа контеймента, как последней и самой прочной системы защиты.

### *Анализ угрозы и новая математическая модель оценки риска для ЯЭУ*

Можно определить новое уравнение для вычисления риска, как оценку вероятности (Pr) террористической атаки (ТА) на АЭС (Nuclear Power Plant – NPP):

$$\text{Risk (ТА)} \propto \text{Pr (UC)} \cdot \text{VA(NPP)}, \quad (1)$$

где UC – нежелательные последствия, а новый термин «оценка уязвимости» (VA) определен как:

$$\text{VA (NPP)} = \text{APAF} \cdot \text{PCF}, \quad (2)$$

где APAF – предполагаемая частота запускающих событий (Assumed Triggering Event Frequency), а PCF – предполагаемая вероятность отказа контеймента (Probability of Containment Failure).

Риск террористического нападения на NPP можно оценить как:

$$\text{R (ТА/NPP)} \propto \text{Pr (UC)} \cdot \text{APAF} \cdot \text{PCF}. \quad (3)$$

Поскольку последствия террористического нападения на эксплуатируемые ЯЭУ могут быть более неблагоприятны, чем последствия атаки на снятую с эксплуатации или временно остановленную ядерную установку, то можно далее оценить риск террористического нападения на АЭС в период ее эксплуатации:

$$\text{R (ТА/O)} \propto \text{Pr (UC)} \cdot \text{APAF} \cdot \text{PCF} \cdot \text{OF}, \quad (4)$$

где  $OF$  – коэффициент использования (Operation Factor) NPP в мировой ядерной энергетике.

Значение  $APAF$  может быть оценено из данных статистических исследований опыта эксплуатации NPP или принято на основе экспертной оценки.

Оценка уязвимости определена как вероятность нежелательных последствий террористического нападения(й) на NPP (она зависит от характеристик защитных систем), умноженная на вероятность отказа защитной системы или критического объекта при данных контрмерах. Уязвимость может быть представлена как объединенное распределение вероятности для каждой комбинации угроз объекту.

Для NPP консервативное значение фактора  $OF$  можно принять равным 0,95. Это означает, что из всех ЯЭУ в мире в настоящее время эксплуатируется 95 %, или приблизительно 400 ядерных энергоблоков. Ясно, что в это рассмотрение не включены снятые с эксплуатации и закрытые ядерные энергоблоки, а также большое количество исследовательских реакторов и установок по обработке ядерных отходов. Все они, наряду с авиацией и нефтяным сектором экономики, являются, возможно, целями наивысшего приоритета для террористов.

### ***Оценка возможных террористических угроз для ядерных энергоблоков и их неблагоприятных последствий***

Можно представлять анализ угрозы как интегральную систему методов для ранжирования вероятности террористического нападения на определенные критические объекты (мишени) инфраструктуры, особенно на ядерные энергоблоки.

Для модели оценки уязвимости можно принять ряд вероятных и серьезных террористических угроз для ЯЭУ:

- самоубийственную атаку на ЯЭУ (контейнмент, бассейн хранения ОЯТ или щит управления) гражданского лайнера с полными баками горючего;
- намеренный удар по ЯЭУ (контейнмент, бассейн хранения ОЯТ или щит управления) полностью заправленных горючим и нагруженных взрывчатыми веществами небольших самолетов;
- намеренное нападение на ЯЭУ (контейнмент, бассейн хранения ОЯТ или щит управления) дистанционно управляемых, полностью заправленных горючим и нагруженных взрывчатыми веществами небольших самолетов;
- намеренное ракетное нападение;
- внутренняя атака со взятием заложника из ключевого эксплуатационного персонала.

Можно считать, что вероятные террористические нападения на НРР должны быть предотвращены, но неожиданные сценарии террористического нападения, которые ведут к большим и необратимым повреждениям ядерного объекта и бедствиям, должны быть предусмотрены.

#### **6.2.5. Безопасность перевозок радиоактивных материалов (РМ)**

Первые перевозки РМ в мире, очевидно, начали осуществляться более 100 лет после открытия радиоактивности. Точных данных нет, но некоторые считают, что самую первую перевозку выполнил открыватель радиоактивности Анри Беккерель, когда забыл образцы РМ в кармане и некоторое время носил их с собой, получив, кстати, при этом небольшое покраснение кожи.

Массовый характер перевозки РМ в мире, и в частности в России, приобрели более 50 лет назад в связи с возрастающим использованием их в энергетике, медицине, сельском хозяйстве, промышленности, археологии, геологии, космосе и т. д.

За все эти годы вплоть до настоящего времени не было ни одного случая нанесения серьезного ущерба для здоровых людей, воздействий на окружающую среду или серьезных экономических последствий. В то же время известно, что вследствие перевозок других опасных грузов (ОГ) в течение этого времени погибло десятки тысяч людей.

Интересно, что риск погибнуть под колесами железнодорожного вагона, перевозящего груз РМ, примерно в  $10^3$  раз больше, чем получить серьезное радиационное воздействие от этого груза.

Серьезную озабоченность в обществе вызывают перевозки делящегося материала, облученного ядерного топлива и высокоактивных отходов.

На сегодняшний день ни в мире ни в России в частности не было реальных угроз совершения актов ядерного и радиационного терроризма.

Приведем примеры демонстрационных испытаний на условия реальных аварий и запроектных аварий.

##### *Механические испытания*

Контейнер для ОЯТ массой 62 000 кг на ж.-д. платформе на скорости 130 км/ч ударялся о массивную бетонную преграду.

##### *Испытания на пожар*

Ж.-д. платформа с контейнером после удара на скорости 135 км/ч подвергалась воздействию пожара при температуре до 1 200 °С в течение 90 мин.

В России идут испытания транспортно-упаковочного контейнера для ОЯТ. Падение с высоты девять метров имитирует столкновение двух поездов на скорости 100 км/ч. От удара отлетают крепежные блоки, но контейнер остается герметичным.

Создан самый большой в мире транспортно-упаковочный контейнер для транспортировки ОЯТ. Его длина почти 16 м, диаметр около 1,5 м, масса 77 т, и предназначен он для транспортировки 9 т ОЯТ.

Над созданием суперконтейнера уральские ученые-ядерщики и специалисты завода химического машиностроения работали десять лет. Сначала были испытаны металлобетонные конструкции, но бетон оказался слишком хрупким. Пришлось использовать рулонную технологию: металлический лист 38 раз обернули вокруг кассеты с отработавшими тепловыми сборками с АЭС. Получился эластичный стальной корпус. В этом контейнере можно не только перевозить топливо, но и хранить его полвека.

«Контейнер испытан на все гарантии МАГАТЭ, соответствует всем его требованиям».

Таким образом, можно уверенно говорить, что безопасные перевозки РМ – это не миф, а реальность.

*Анализ представленной информации позволяет сделать следующие выводы о возможности применения ЯТ в ближайшем будущем.*

- Крайне маловероятно, что каким-либо террористическим группам удастся самостоятельно или даже при помощи специалистов физиков-ядерщиков создать ЯВУ.
- Несмотря на накопление плутония в мире на гражданских реакторах он вряд ли окажется привлекательным для террористов для целей создания ЯВУ.
- Несанкционированный доступ террористических организаций к ядерным боеприпасам также крайне маловероятен. В то же время доступ и хищение ядерных боеприпасов при их транспортировке или разборке не могут быть полностью исключены. Однако даже в этом случае защитные механизмы ядерного боеприпаса делают вероятность его детонации близкой к нулевой.
- Основная цель террористического нападения – достижение быстрого психического эффекта. Так, нападение небольшой группы легковооруженных террористов на атомную установку или заявление об использовании ядерного оружия или материалов может и не причинить реального ущерба, но психологический эффект, истерия и страх могут быть огромными, и это особенно привлекательно для террористов. Так что число заявлений о намерении захватить ядерный объект или даже заранее обреченных на провал попыток его захватить, скорее всего, будет возрастать.
- Тщательно подготовленные террористические акты с целью захвата АЭС также нельзя исключать. Одним из наихудших возможных

результатов такой террористической акции может стать повторение Чернобыльской трагедии, повлекшей за собой ущерб здоровью тысяч людей и психологические травмы, вывод из оборота сельскохозяйственных угодий, потеря энергоисточника и затраты на ликвидацию последствий аварии. Даже в условиях предотвращения значительного выброса радиоактивности долговременная остановка энергоблока способна вызвать большие экономические и социально-политические потери.

- Вероятным можно считать создание и применение террористическими организациями радиологического оружия, с использованием РАО.

## 7. ЗАЩИТА ОТ ЯДЕРНОГО ТЕРРОРИЗМА

Борьба с ЯТ должна вестись по многим направлениям. Наиболее важные из них отмечены ниже:

- подготовка правоохранительных и специальных служб проводится с направленностью на нейтрализацию террористических групп;
- также разрабатываются программы, по которым должен действовать персонал, охрана в случае диверсии;
- улучшается уровень физической защиты АЭС.

Для создания наиболее благоприятных условий для совместного сотрудничества государств с целью предотвращения возможной угрозы, а в случае ее свершения – предотвращения последствий, было организовано «Глобальное сотрудничество». В рамках этого сотрудничества страны обязались выполнять ряд условий. Во-первых, принимать меры по предотвращению приготовления на территориях терактов. Во-вторых, проводить обмен информацией о задуманных террористических актах, попытках совершения. И в-третьих, разрабатывать документы, которые могут создать некий правовой механизм, способный контролировать и противодействовать террористам.

Основной элемент по сдерживанию и пресечению диверсионного нападения на ядерный объект – его система физической защиты.

Международное сотрудничество по предотвращению актов ядерного терроризма является одним из решающих факторов успеха [6]. В рамках такого сотрудничества государствам следует выполнять следующие требования:

- принимать предусмотренные законодательством меры по предотвращению приготовления на их территориях актов ЯТ, включая запрещение незаконной деятельности лиц, групп и организаций, которые поощряют, подстрекают, организуют или участвуют в совершении актов ЯТ либо способствуют сокрытию преступлений, связанных с ЯТ;
- обмениваться информацией в целях предотвращения ЯТ. Понятно, что обмен такой информацией должен быть строго конфиденциальным, в том числе и для того, чтобы она не попала в распоряжение террористических организаций;
- сообщать о результатах расследований другим вовлеченным государствам, в случае совершения актов ЯТ или задержания преступников, подозреваемых в подготовке таких актов.

### 7.1. Международное сотрудничество по предотвращению ядерного терроризма [7]

Приведем краткое изложение международных инициатив, связанных с ядерным терроризмом (табл. 7.1).

Табл. 7.1

*Краткое изложение международных инициатив, связанных с ядерным терроризмом*

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Евратом, 1960 г.	Юридический инструмент	Региональная: 15 государств – членов ЕС	Предотвращение: обеспечение сохранности гражданских ядерных материалов и объектов с целью предотвращения их переклочки на военные программы	Хищение ядерных материалов
Договор о нераспространении ядерного оружия, 1970 г.	Юридический инструмент	Почти всеобъемлющая: 188 государств-участников	Предотвращение: обеспечение сохранности гражданских ядерных материалов и объектов с целью предотвращения их переклочки на военные программы. Уничтожение ядерного оружия	Хищение ядерных материалов. Завладение ядерным оружием
Комитет Цангера, 1971 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 35 членов	Обеспечение контроля при экспорте чувствительных ядерных материалов, оборудования и технологий	Хищение ядерных материалов
Конвенция о физической защите ядерных материалов, 1980 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 68 государств-участников и Евратом	Предотвращение/правоприменение: физическая защита ядерных материалов при международных перевозках	Хищение ядерных материалов

Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Конвенция о раннем уведомлении о ядерном инциденте, 1986 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 87 государств-участников	Реагирование: уведомление о ядерных авариях, которые имеют трансграничные радиологические последствия	Все четыре угрозы ядерного терроризма
Конвенция об оказании помощи в случае ядерной или радиологической аварии, 1986 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 83 государства-участника	Реагирование: сотрудничество между государствами и с МАГАТЭ с целью способствовать оказанию содействия и поддержки в случае ядерных и радиологических чрезвычайных ситуаций	Все четыре угрозы ядерного терроризма
Соглашение между Индией и Пакистаном о ненападении, 1991 г.	Юридический инструмент	Двусторонняя: Индия, Пакистан	Предотвращение: сокращение ядерного риска в отношениях между Индией и Пакистаном посредством предотвращения опасных нападений на ядерные объекты с применением обычных вооружений	Нападение или диверсия на ядерных объектах
Пелиндабский договор, статьи 10 и 11, 1996 г.	Юридический инструмент	Региональная: подписанты – 52 страны Африки. В силу еще не вступил	Предотвращение: физическая защита ядерных материалов и объектов. Запрещение нападения на ядерные объекты	Нападение или диверсия на ядерных объектах. Хищение ядерного материала
Проект Международной конвенции по борьбе с актами ядерного терроризма, 1996 г.	Юридический инструмент	Проект. Находится в процессе разработки (переговоры) (А/АС.252/3)	Предотвращение/правоприменение: развитие сотрудничества в области предотвращения и судебного преследования актов ядерного терроризма	Все четыре угрозы ядерного терроризма



Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Международная конвенция о борьбе с бомбовым терроризмом, 1997 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 67 государств-участников	Провоприменение: принятие надлежащих национальных законов, с тем чтобы акты террористических взрывов трактовались как уголовные преступления	Все четыре угрозы ядерного терроризма
Объединенная конвенция по безопасности при обращении с отработанным топливом и по безопасности при обращении с радиоактивными отходами, 1997 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 27 государств-участников	Предотвращение: достижение и поддержание высокого уровня безопасности при обращении с отработанным топливом и радиоактивными отходами	Изготовленные РРУ
Международная конвенция по борьбе с финансированием терроризма, 1999 г.	Юридический инструмент	Многосторонняя: 42 государства-участника	Предотвращение/правоприменение: уменьшение способности и возможности международного терроризма нанести ущерб посредством борьбы с финансированием терроризма	Все четыре угрозы ядерного терроризма
Проект Всеобъемлющей конвенции по борьбе с международным терроризмом, 2000 г.	Юридический инструмент	Проект. Находится в процессе разработки (переговоры) (A/C.6/55/1)	Предотвращение/правоприменение: сотрудничество с целью противодействия, предотвращения и наказания за террористические акты	Все четыре угрозы ядерного терроризма

Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Программа по снижению обогащения топлива для исследовательских и испытательных реакторов (RERT), 1978 г.	Организация/программа	Программа США в отношении стран, имеющих ядерные реакторы, поставленные США	Предотвращение: конверсия реакторов, поставленных США, на использование НОУ	Хищение ядерного материала
Специальный комитет Конференции по разоружению в отношении радиологического оружия, 1980–1992 гг.	Организация/программа	Многосторонняя: государства-участники Конференции по разоружению	Предотвращение/правоприменение: рассмотрение вопросов, относящихся к запрещению радиологического оружия и запрещению нападений на ядерные объекты	Изготовление РРУ. Нападение или диверсия на ядерных объектах
Отдел противоаварийной готовности и реагирования МАГАТЭ, 1986 г.	Организация/программа	МАГАТЭ	Реагирование: оказание поддержки государствам-членам в создании системы противоаварийной готовности и обеспечение действенного и надлежащего реагирования в случае радиационной чрезвычайной ситуации	Все четыре угрозы ядерного терроризма
Управление Интерпола по безопасности населения и терроризму, 1987 г.	Организация/программа	Многосторонняя: 179 государств-членов	Предотвращение/правоприменение: предотвращение актов международного терроризма и наказание преступников	Любое проявление терроризма

Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Всемирная ассоциация операторов атомных электростанций (ВАО АЭС), 1989 г.	Организация/программа	Частная: объединяет все ядерные энергопроизводящие компании	Предотвращение: безопасная эксплуатация атомных электростанций	Нападение или диверсия на ядерных объектах
Программа «Совместное уменьшение угрозы» и связанная с ней программы, 1992 г.	Организация/программа	Многосторонняя: США, Белоруссия, Украина, Казахстан, Россия	Предотвращение: демонтаж ядерного оружия и обеспечение сохранности ядерного материала в странах бывшего Советского Союза	Завладение ядерным оружием. Хищение ядерного материала
Международный научно-технический центр (МНТЦ), программа 1992 г.	Организация/программа	Многосторонняя: Армения, Белоруссия, Грузия, Казахстан, Киргизия, ЕС, Япония, Россия, США, Норвегия и Южная Корея	Предотвращение: утечка ученых из стран СНГ в страны, вызывающие озабоченность, и в террористические организации	Хищение ядерного материала
Программа МАГАТЭ по созданию базы данных по незаконному обороту, 1993 г.	Организация/программа	Программа МАГАТЭ, к которой присоединились около 70 стран	Предотвращение/правоприменение: сбор и обмен информацией о инцидентах, связанных с оборотом ядерных материалов и других радиоактивных источников	Хищение ядерного материала. Изготовление РРУ
Международная консультативная служба МАГАТЭ по физической защите (IPRAS), 1995 г.	Организация/программа	Открыта для всех государств	Предотвращение: предоставление государствам помощи по физической защите их ядерных материалов и объектов	Нападение или диверсия на ядерных объектах. Хищение ядерного материала

Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Отдел ООН по предотвращению терроризма, программа 1999 г.	Организация/ программа	Многосторонняя: государства-члены ООН	Предотвращение/правоприменение: развитие научных исследований и международного сотрудничества в целях борьбы с терроризмом	Любое проявление терроризма
Рез. 1373 СБ ООН Комитета по контролю терроризму, 2001 г.	Организация/ программа	Многосторонняя: все 115 членов Совета Безопасности ООН	Предотвращение/правоприменение: развитие сотрудничества между государствами-членами по борьбе с терроризмом	Любое проявление терроризма
Сокращение долга в связи с принятием Закона по нераспространению ядерного оружия, 2001 г.	Организация/ программа	Двусторонняя: США – Россия. Находится на рассмотрении Конгрессом США	Предотвращение: предоставление дополнительных источников финансирования на деятельность по обеспечению нераспространения ядерного оружия в России	Завладение ядерным оружием. Хищение ядерного материала
План действий МАГАТЭ по борьбе с ядерным терроризмом, 2002 г.	Организация/ программа	МАГАТЭ	Предотвращение/правоприменение/реагирование: всемирное укрепление защиты от террористических актов, связанных с ядерными и другими радиоактивными материалами	Хищение ядерного материала. Изготовление РРУ. Нападение или диверсия на ядерных объектах
Группа ядерных поставщиков, 1975 г.	Руководства/ обязательства	Многосторонняя: 39 государств – ядерных поставщиков	Предотвращение: обеспечение сохранности при экспорте чувствительных ядерных материалов, оборудования и технологий	Хищение ядерного материала

Продолжение табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Односторонние декларации об уничтожении и передислокации подстратегического ядерного оружия, 1991–1992 гг.	Руководства/обязательства	Параллельные односторонние декларации: США и Советский Союз / Россия	Предотвращение: обеспечение уничтожения или удаления в централизованные хранилища тактических ядерных арсеналов США и Советского Союза / России	Завладение ядерным оружием
Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасности источников излучений (ОИБ), 1992 г.	Руководства/обязательства	МАГАТЭ (опубликованные)	Предотвращение: обеспечение сохранности радиоактивных источников с целью предотвращения хищения или повреждения	Изготовление РРУ
INFCIRC/225/rev. 4. Физическая защита ядерных материалов и ядерных объектов, 1999 г.	Руководства/обязательства	МАГАТЭ (опубликованные)	Предотвращение: обеспечение физической защиты ядерных материалов и ядерных объектов	Нападение или диверсия на ядерных объектах. Хищение ядерного материала
Итоговый документ Конференции по рассмотрению выполнения ДНЯО, п. 42,43, 2000 г.	Руководства/обязательства	Государства-участники ДНЯО	Предотвращение: укрепление режима обеспечения физической защиты ядерных материалов и объектов	Хищение ядерного материала. Нападение или диверсия на ядерных объектах

Окончание табл. 7.1

Инициатива	Тип инициативы	Статус и область применения	Цель	Угроза
Кодекс поведения МАГАТЭ по безопасности и сохранности радиоактивных источников, 2000 г.	Руководства/обязательства	МАГАТЭ (опубликованный)	Предотвращение: достижение и поддержание высокого уровня безопасности и сохранности радиоактивных источников	Изготовление РРУ
Мировое партнерство против распространения оружия массового уничтожения, «Большая восьмерка», 2002 г.	Руководства/обязательства	Члены «Большой восьмерки»: Канада, Франция, Германия, Италия, Япония, Россия, Великобритания и США	Предотвращение: установление шести принципов предотвращения действий террористов или того, что им способствует, доступа к оружию или материалам массового уничтожения. Принятие обязательства выделить 20 млрд долл. США на поддержку таких проектов в течение 10 лет; основной фокус – географическая территория России	Нападение или диверсия на ядерных объектах. Хищение ядерного материала. Завладение ядерным оружием

## **7.2. Предохранение от случайных или несанкционированных действий с ядерным оружием в России**

Осознание глубины опасности, связанной с ядерным терроризмом, уже издавна предъявляло особые требования к обеспечению высокоэффективной системы ядерной безопасности. В течение послевоенных десятилетий такая система была создана как в СССР, так и в США.

При этом следует указать, что в России система мер по предотвращению ядерного терроризма отработывалась еще в ту пору, когда подобная угроза носила в значительной степени теоретический характер и не представляла сколько-нибудь значимой величины. Впервые серьезная озабоченность состоянием дел с ядерным оружием, предотвращением его возможного захвата поднявшими голову экстремистскими националистическими силами стала проявляться в ряде республик в 1989–1990 гг., накануне распада СССР. По заключению зарубежных экспертов, в ту пору советское тактическое ядерное оружие в количестве 15...18 тыс. единиц размещалось на территории всех пятнадцати республик. Создавалась реальная угроза насильственного захвата ядерных боеприпасов, находящихся на базах их хранения или во время транспортировки. Это побудило Генеральный штаб ВС СССР предпринять быстрые и решительные меры по выводу тактического ядерного оружия на территорию России и размещению его на базах централизованного хранения. Несмотря на определенное противодействие со стороны националистических сил в ряде республик, апологетов обретения «ядерного статуса», к июню 1992 г. все до единого тактические ядерные боеприпасы были перебазированы в Россию и размещены в хранилищах. Трудно переоценить значение этой акции с точки зрения обеспечения ядерной безопасности и предотвращения возможного захвата ядерного оружия террористическими группировками.

Однако несмотря на заверения официальных представителей России о сохранении полного контроля над всем ядерным оружием бывшего СССР, на Западе усиленно муссировались слухи о пропаже или продаже «странам-изгоям» некоторых образцов ядерного оружия. Им вторили некоторые российские политики и ученые, заявляющие с высоких трибун, в том числе и за рубежом России, об обнаруженной ими пропаже миниатюрных ядерных зарядов, так называемых «ядерных чемоданчиков», предназначенных для совершения диверсий на территории противника в случае развязывания войны.

**Система ядерной безопасности России предусматривает несколько рубежей предохранения от случайных или несанкционированных действий с ядерным оружием:**

1. За исключением МБР и БРПЛ, ядерные боеприпасы не устанавливаются непосредственно на средства доставки, а находятся в специальных хранилищах под охраной войск 12-го ГУ МО.

2. Порядок проведения различных процедур при хранении, перемещении, проведении регламентных работ, учений и транспортировке. Эти операции должны проводиться всегда группой лиц (никогда индивидуально), должны быть выражено формализованы, и хотя они не могут безусловно предотвратить несанкционированные действия с ядерным оружием, все же делают их весьма трудно осуществимыми.
3. Меры физической безопасности в местах хранения ядерного оружия. Как правило, эти хранилища окружены проволочными ограждениями, минными полями, обеспечены системами охраны и обороны, физическими барьерами, сковывающими действия нападающих внутри объекта и т. п.
4. Специальные устройства, «предохранители» внутри боеприпасов, предотвращающие случайный взрыв при пожаре, падении, механическом или электрическом ударе, – во всех случаях, кроме штатного применения.
5. Установленные на боеприпасах специальные датчики распознавания окружающей среды. Они препятствуют взрыву во всех случаях, если боеприпас предварительно не испытал расчетного физического воздействия окружающей среды.
6. Кодовое устройство, предотвращающее взведение и взрыв боезаряда в случаях, если не был введен секретный код. Подобное устройство устанавливается либо на самом боеприпасе, либо на средствах доставки – ракете, самолете и др. Попытки «вскрыть» кодовые замки занимают много времени даже у злоумышленника с очень хорошей технической подготовкой.

### **7.3. Комплексный подход к защите ЯТЦ**

Выше показано, что наибольшая опасность извлечения ядерных материалов на всех стадиях ЯТЦ заключается в процессе изготовления топлива делящихся материалов, их обогащения и хранения выгруженного из реакторов облученного ядерного топлива (ОЯТ), а также транспортировки их.

В работе [26] автор на основе анализа развивающихся в России и мире тенденций, выводов экспертов и специалистов предлагает для рассмотрения ряд предложений, представляющих собой комплексный подход к защите ЯТЦ от возможности изъятия делящихся материалов.

#### ***7.3.1. Создание единой международной системы учета и контроля ядерных материалов***

В настоящее время значительная часть международных перевозок свежего ядерного топлива с обогащением по урану-235 контролируется



с помощью Международного агентства по атомной энергии, а перевозки внутри стран – соответствующими национальными органами. Однако такая система не вполне эффективна, она имеет периоды задержки с определением точной информации, к тому же не все материалы, потенциально опасные с точки зрения ядерного или радиационного терроризма, контролируются и учитываются. В этой связи предлагается начать работу по созданию единой международной системы учета и контроля ядерных материалов. Такого рода система позволит в любой момент времени в едином международном центре иметь точную информацию о номенклатуре, массе, химических и физических формах перевозимых ядерных материалов и существенно затруднит несанкционированный доступ к ним.

К возможным этапам создания такой системы необходимо отнести:

а) организацию международного контроля в режиме «on-line» любых перемещений ядерных материалов за пределами границ государств (страна рассматривается как единая зона баланса);

б) создание системы международного контроля любых перемещений ядерных материалов внутри национальных границ (в пределах объявленных национальных зон баланса).

При этом в рамках международного сотрудничества понадобится предпринять следующие шаги:

- разработать международные нормативные документы;
- создать единую (спутниковую) систему учета и контроля на основе «интеллектуальных» контейнеров (встроенные чипы, взаимодействующие с международным и национальными центрами учета и контроля);
- создать под эгидой какой-то международной организации единственный или распределенный с единым информационным полем центральный пункт учета и контроля.

Понятно, что это не простая задача, но в случае ее реализации общественность получит уверенность в объективном отслеживании всех процедур перевозок и хранения делящихся материалов в мировом масштабе.

### **7.3.2. Организация международной системы лизинга ядерных топливных материалов**

Суть такой системы состоит в том, что государства (юридические лица) покупают для ядерных реакторов топливо, содержащее делящиеся материалы, с обязательным условием возврата стране-изготовителю облученного ядерного топлива с остатками неизрасходованного урана-235 и накопленных изотопов плутония. В этом случае при надежных гарантиях поставки у потребителя ядерного топлива нет юридического права производить с топливом никаких процедур, связанных с извлечением из этого

топлива любых материалов. Такого рода идеи выдвигались российским руководством достаточно давно, но лишь недавно генеральный директор МАГАТЭ Мухаммед эль-Барадеи признал данное предложение полезным для режима нераспространения и поддержал создание Международного центра ядерного топлива, функционирующего в режиме лизинга.

В числе возможных этапов создания системы лизинга следует назвать:

- а) разработку международных нормативных документов, определяющих права собственности, правила обращения со свежим ядерным топливом, гарантии всем странам в праве покупать такое топливо и т. п.;
- б) создание международного «склада» свежего топлива (одного или нескольких), определение номенклатуры и объемов хранения (природный уран, обогащенный уран, топливные таблетки, твэлы, ТВС);
- в) создание приемлемой для всех транспортной системы перевозок свежего ядерного топлива.

При этом в рамках международного сотрудничества понадобится:

- разработать международные нормативные документы;
- разработать приемлемую унификацию составляющих элементов и качества топлива;
- преодолеть препятствия, существующие в связи с различиями в национальных законодательствах.

### ***7.3.3. Организация международной системы обращения с облученным ядерным топливом***

В настоящее время основной технологией обращения с ОЯТ является длительное контролируемое хранение в специальных национальных хранилищах. И хотя доступ к ОЯТ затруднен из-за высокого уровня радиоактивных излучений, тем не менее большое количество подобных хранилищ с разной степенью физической защиты и конструкцией мест хранения с ограниченными проектными сроками службы оставляет достаточно высокую вероятность хищения такого топлива. Поэтому наиболее безопасно хранить такое топливо в нескольких региональных централизованных хранилищах под международным контролем с возможностью, при необходимости, извлечения его для дальнейшего использования или захоронения. Эту идею более пяти лет назад выдвинула Россия, для чего было изменено национальное законодательство в области обращения с ОЯТ. Точно так же, как и в случае со свежим топливом, МАГАТЭ недавно признало такую политику обращения с ОЯТ полезной и рекомендовало начать ее внедрение. России необходимо поддержать эту инициативу, учитывая тот факт, что сегодня только в нашей стране разработаны технологии использования непосредственно ОЯТ в качестве нового топлива для реакторов на быстрых нейтронах.

К числу возможных этапов создания системы обращения с ОЯТ следует отнести:

- а) разработку международных нормативных документов, определяющих права собственности, гарантии безопасных перемещений внутри национальных и международных границ, правила временного технологического хранения и последующего возврата ОЯТ при запросе страны, собственника, правила переработки и регенерации ОЯТ, правила контроля массы и изотопного состава ОЯТ и т. п.;
- б) создание международных региональных временных хранилищ ОЯТ, выгруженного из реакторов различных стран, организация системы физической охраны и мониторинга окружающей среды.

При этом в рамках международного сотрудничества понадобится разработать:

- международные нормативные документы;
- более эффективные способы хранения (специальные контейнеры, элементы сухих хранилищ, специальный транспорт, приборы контроля), хотя практически все это уже имеется и успешно применяется на практике.

#### **7.3.4. Организация системы аренды АЭС**

Одним из наиболее простых способов защиты ядерных материалов может явиться аренда атомных электростанций. Суть идеи состоит в том, что АЭС, построенная и готовая к пуску в эксплуатацию, например АЭС на судходной барже, продается в страну, которая намерена использовать ядерную энергетику на условиях аренды. Это означает, что АЭС передается в использование для выработки электроэнергии и тепла, а после завершения срока эксплуатации возвращается на завод-изготовитель для утилизации. Свежее топливо на такую АЭС поставляется по мере необходимости, а ОЯТ хранится на том же судне до конца эксплуатации. В этом случае все контакты с топливом регламентированы и замкнуты в пространстве станции. Идеальным условием было бы командирование обслуживающего персонала (вахтовым методом) из страны-изготовителя.

Возможные этапы создания системы лизинга АЭС:

- а) разработка и создание пилотных АЭС, пригодных для аренды (плавающие, модульные, возможно иные);
- б) разработка международных нормативных документов, определяющих нормы безопасности таких АЭС на территории страны, взявшей ее в аренду, правила физической защиты, транспортирования, пуска в эксплуатацию и вывода из эксплуатации.

### **7.3.5. Создание новой ядерной энергетики, имеющей высокую степень технологической защиты ядерного топлива**

Именно эта идея была озвучена президентом России В.В. Путиным на Саммите тысячелетия в 2000 г. Россия уже разработала и в полупромышленном масштабе испытала соответствующие технологии применительно к реакторам на быстрых нейтронах. Правительством по инициативе Госдумы принято решение возобновить строительство реактора БН-800, на котором в промышленном масштабе можно продемонстрировать реальность такого подхода.

В случае реализации подобной технологии делящиеся материалы никогда не очищаются полностью от высокоактивных продуктов деления и минор-актиноидов, а весь процесс изготовления топлива автоматический и дистанционный (в специальных защитных камерах), поэтому их хищение практически невозможно. Оценка устойчивости таких технологий относительно возможных изъятий делящихся материалов может быть оценена в рамках проекта ИНПРО, предложенного Россией и реализуемого в рамках МАГАТЭ. При достижении показателей, показывающих высокую степень технологической защиты от хищения, такого рода замкнутые топливные циклы могут быть без опасения поставлены в любые страны для использования на новом поколении атомных станций.

Возможными темами сотрудничества могут быть:

- сотрудничество в разработке специализированного оборудования для дистанционного автоматического изготовления топлива из высокоактивных материалов;
- сотрудничество в повышении эффективности технологии и конструкторских решений (сокращение расходов, уменьшение количества отходов и т. п.);
- совместное строительство на территории России или других стран блоков АЭС и объектов ЯТЦ.

Подобный комплексный подход к защите топливного цикла при тесном международном сотрудничестве даст возможность развивать ядерную энергетику во всех странах, которые этого пожелают, без политического риска и при надежном снабжении их энергией.

### **7.3.6. Создание Международного центра по обогащению урана**

Идея создания первого в мире Международного центра по обогащению урана в Ангарске была высказана президентом Путиным в связи с необходимостью соблюдения принципа нераспространения в отношении стран не обладающих ядерным оружием. В ЯТЦ есть несколько

элементов, которые по определению имеют двойственный характер, и ключевым из них является обогащение урана.

Драматизм ситуации можно оценить на примере иранской ядерной программы. Иран утверждает, что исследования по обогащению урана ведутся для получения топлива для будущих двух десятков новых энергоблоков, а международные эксперты опасаются, что обогащение перейдёт четырёхпроцентный порог, необходимый для получения ядерного топлива, и дойдёт до оружейных 90 %. Отсутствие гарантий того, что, получив технологию обогащения, её владелец обогатит уран до энергетического уровня и никогда не обогатит до уровня оружейного урана, и есть камень преткновения сегодняшнего дня.

В то же время право на доступ к мирному использованию атомной энергии есть у любой страны в мире. Но если мировое сообщество не запретит проведение обогащения урана всем новым странам – членам «ядерного клуба» и допустит бесконтрольное распространение технологий, то нарушится режим нераспространения, и завтра ядерное оружие будет у сотни стран. Это недопустимая вещь.

Что же можно сделать, чтобы совместить право любой страны в мире на использование мирной атомной энергии и гарантии режима нераспространения? Совместить несовместимое и призвана инициатива президента России. Её суть заключается в том, что государства, которые обладают всей технологией ядерно-топливного цикла, не только сами будут ею пользоваться, но и предоставят возможность её использования вновь вступающим на этот путь странам. Россия предлагает обеспечить любой новой стране, которая хочет развивать атомную энергетику и не претендует на военные технологии, возможность стать полноправным учредителем Международного центра по обогащению, его акционером. Акционер Международного центра гарантированно получает следующее: во-первых, поставки низкообогащённого урана или услуги по его обогащению; во-вторых, участие в управлении центром; в-третьих, всю информацию о ценах и условиях контрактов и уверенность в их справедливости; в-четвёртых, свою долю доходов от этого довольно рентабельного бизнеса... Есть ещё и пятое, и шестое, и седьмое...

Единственное, к чему у акционера не будет доступа, – к технологии двойного назначения. Это говорит о том, что работа в Международном центре будет построена по принципу «чёрного ящика»: известно, сколько поступило природного урана, известно, сколько обогащённого урана получено на выходе, а что внутри – неизвестно. Ключевой аспект – работа Международного центра под контролем МАГАТЭ, о чём уже есть предварительная договорённость с руководителем МАГАТЭ Эль-Барадеи.

В качестве места расположения такого Центра Россия предлагает Ангарский электролизный химкомбинат. В пользу такого выбора говорит целый ряд факторов: наличие необходимых производственных площадей, резервные мощности, соответствующая инфраструктура. К тому же АЭХК всегда был ориентирован на гражданскую часть атомной отрасли и не связан с оружейным комплексом, поэтому проще урегулировать доступ иностранных специалистов, сохранив при этом, конечно, соответствующие системы безопасности и контроля.

Для комбината и для Ангарска строительство Международного центра по обогащению, безусловно, означает гарантированное будущее на десятки лет вперёд плюс солидные инвестиции, что крайне важно и для города, и для региона в целом.

## 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ НА БЛАГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

### 8.1. Промышленность

Физические принципы и методы применения ядерных излучений основаны на том, что при прохождении излучений через вещество в результате взаимодействия с атомами и молекулами изменяются характеристики вещества и проходящего через него излучения.

Эти изменения и основанные на них методы регистрации и применения радиоактивных излучений заключаются в следующем.

а) В зависимости от свойств среды часть проходящего через нее излучения рассеивается (с потерей или без потери энергии) и поглощается с образованием других частиц. Регистрация и количественное измерение прошедшего, рассеянного или вторичного излучения позволяет определять физические свойства, геометрические размеры и другие параметры среды.

б) При прохождении радиоактивных излучений через среду происходит ионизация и возбуждение атомов, диссоциация молекул и образование свободных радикалов, в результате чего изменяется состояние среды и могут протекать процессы, которые в обычных условиях не осуществляются или имеют малую скорость. Ионизирующая способность радиоактивных излучений используется для их регистрации и лежит в основе методов, с помощью которых изменяются свойства веществ и материалов, скорости химических реакций и биологических процессов.

в) При ядерных реакциях, происходящих в результате взаимодействия излучения с веществом, образуются ядра в возбужденном состоянии. Энергия возбуждения снимается испусканием вторичного излучения. Это явление образования радиоактивных ядер под действием облучения (наведенная радиоактивность) является основой метода активационного анализа. Метод используется для определения количественного состава материалов и веществ путем их облучения и последующей регистрации и анализа вторичного излучения. Знание спектральных характеристик вторичного излучения, которое специфично для каждого изотопа, позволяет определить присутствие данного изотопа в веществе, а также его количество.

г) Радиоактивные изотопы испускают излучение, регистрация которого позволяет обнаруживать присутствие атомов радиоактивного изотопа среди других радиоактивных и нерадиоактивных изотопов данного элемента. По характеру радиоактивного излучения (природа частиц, величина их энергии, период полураспада) мы можем проследить за поведением интересующего нас вещества. Поскольку химические свойства атомов радиоактивных и нерадиоактивных изотопов одного и того же элемента одинаковы, наблюдая за поведением радиоактивного изотопа, мы можем судить и о поведении интересующего нас элемента. Таким образом, радиоактивность является меткой, которая позволяет следить за поведением атомов. Отсюда и название метода – метод меченых атомов, сфера применения которого чрезвычайно велика. Роль меченых атомов могут выполнять и стабильные изотопы, если они входят в природную смесь изотопов данного элемента в количестве, отличном от природного изотопного состава. Например, в естественной смеси кислорода содержится 99,76 % кислорода-16, 0,04 % изотопа кислорода-17 и 0,2 % кислорода-18.

Если каким-либо образом увеличить процентное содержание  $^{18}\text{O}$  в смеси, то кислород становится меченым, поскольку, анализируя изотопный состав, можно следить за распространением кислорода с измененным изотопным составом.

### *Измерение параметров материалов и сред*

В настоящее время ядерные излучения широко используются во всем мире и стали ценным средством повышения эффективности многих производственных процессов в промышленности. Важными преимуществами применения ядерных излучений, по сравнению с другими технологическими методами, являются, как правило, экономия энергии, надежность и простота управления соответствующими процессами, сокращение промышленных загрязнений, высокое или даже уникальное качество продукции, высокий уровень безопасности на промышленных радиационных установках. По стоимости радиационные методы сравнимы с другими альтернативными методами.

В промышленности ядерные излучения применяются для автоматизации контроля, регулирования и автоматизации проверки качества материалов и изделий, для придания веществам и материалам новых свойств, для создания новых технологических процессов.

Контрольно-измерительные приборы и устройства, использующие проникающую способность излучений, дают возможность обеспечить без механического контакта измерение параметров среды или технологических процессов, которые протекают при высоких давлениях, температурах, в высокоагрессивных средах. Радиационно-измерительные уст-



ройства применяются там, где использование устройств других типов невозможно или менее эффективно. Радиационные приборы имеют большой срок службы. Метод меченых атомов дает возможность непрерывно контролировать технологические процессы. Область применения радиационных приборов охватывает весьма широкий круг задач в металлургической, машиностроительной, химической, горнорудной, угольной, нефтяной, строительной и других отраслях промышленности. С помощью приборов, действие которых основано на применении ядерных излучений, измеряются физические характеристики различных сред, исследуется структура и состав материалов и веществ, контролируются разнообразные технологические процессы.

Рассмотрим кратко, какие параметры среды и каким образом можно измерять с помощью радиоактивных излучений.

### *Измерение плотности и толщины*

Количество прошедшего и рассеянного излучения зависит от плотности, толщины и состава материала. Для измерения этих параметров используются приборы, основанные на регистрации как прошедшего, так и рассеянного излучения. Для измерения больших толщин используются гамма-излучение и нейтроны. С помощью источников гамма-излучения ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) можно измерять, например, толщину железа до 10 см и более. Для измерения очень малых толщин (доли миллиметра) используются источники  $\beta$ -излучения ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  и др.).

Сравнение интенсивности прошедшего излучения с эталонной зависимостью интенсивности проходящего излучения от толщины или плотности позволяет определить толщину или плотность данного материала или вещества.

Измерение и контроль толщины используется в сталелитейной, бумажной, текстильной промышленности, при производстве пластмасс, резины и стекла. В случае отклонения толщины от нормы система автоматики регулирует технологический процесс, уменьшает разброс в толщине, и следовательно улучшает качество производимого листа (бумаги, стали, стекла и др.). В строительстве метод применяется для измерения плотности бетона и грунта. В последнем случае бурят две параллельные скважины на расстоянии 0,5 м друг от друга; в одну из которых помещается источник (обычно  $^{60}\text{Co}$ ), а в другую – детектор. По интенсивности измененного гамма-излучения, используя эталонную зависимость, определяют плотность грунта, точность измерений 1...2 %. Радиоактивные излучения применяются также для непрерывного измерения плотности жидкостей прямо в трубопроводах. Плотность материалов и их толщину можно измерять по регистрации рассеянного излучения. Это особенно

важно, когда доступ к объекту контроля возможен только с одной стороны. Так измеряется толщина стенок труб, различных емкостей, стен. В химической промышленности этот метод позволяет проводить профилактический контроль состояния толщины стенок трубопроводов и сосудов без остановки технологического процесса в тех случаях, когда имеется опасность коррозии стенок под воздействием химических соединений.

Измерение рассеянного  $\beta$ -излучения используется при определении толщины покрытий, наносимых на различные материалы и изделия. Так определяется толщина покрытий из золота и серебра до 10 мкм, осуществляется контроль толщины олова и цинка, наносимых на стальной лист для защиты от коррозии.

Суть метода заключается в том, что коэффициент отражения  $\beta$ -частиц зависит от атомного веса материала. Поэтому коэффициенты отражения от чистой поверхности какого-либо металла от поверхности того же металла, но покрытого слоем другого состава, различаются, и тем больше, чем больше разность атомных весов подложки и покрытия и чем толще покрытие. Если составы подложки и покрытия не изменяются по глубине, то коэффициент отражения  $\beta$ -частиц зависит только от толщины покрытия.

Измерение толщины и плотности материалов дает возможность определять и вес материалов. Метод измерения веса с помощью радиоактивного излучения эффективно используется для непрерывного определения веса породы и веществ на движущейся транспортной ленте. В этом случае над транспортером размещается источник излучения и регистрируется проходящее гамма-излучение. Так измеряется вес руды, угля, химикалий, удобрений, цемента, вес стальных листов на прокатных станах.

### ***Измерение уровня жидкости***

Радиоизотопные приборы используются во многих областях промышленности для измерения уровней жидкости в сосудах и резервуарах, сыпучих веществ в бункерах, контроля уровня расплава металлов и др. Обычно используются гамма-излучатели  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Важным достоинством таких приборов является возможность бесконтактного контроля агрессивных жидкостей и материалов под высоким давлением и при высоких температурах. Измерители уровня могут иметь различные конструкции. Располагая соответствующим образом источник и детектор, можно определить, когда жидкость или другое вещество достигнет критического уровня или на каком уровне они находятся в данный момент.

Приборы этого типа дают возможность определять уровень границы раздела жидких сред, плотность которых очень мало различается (менее

0,05 г/см<sup>3</sup>), а также уровень раздела сред, содержащих и не содержащих водород. Метод применяется в металлургии для измерения скорости продвижения и уровня шихты (руды и кокса) в доменной печи. Источником излучения служит <sup>60</sup>Co. На металлургических заводах на установках непрерывной разливки стали с помощью радиоизотопных приборов измеряется и контролируется уровень жидкого металла в кристаллизаторах.

### *Измерение влажности*

Для измерения влажности используют быстрые нейтроны, источником которых может служить нейтронный генератор или изотопный источник, например <sup>252</sup>Cf. Взаимодействуя со средой, быстрые нейтроны в результате неупругих соударений с атомами среды замедляются, и в окружающей среде появляются тепловые нейтроны, плотность потока которых зависит от замедляющей способности вещества. Наибольшей замедляющей способностью обладает водород. Поэтому, измеряя скорость счета тепловых нейтронов при помещении в среду источника быстрых нейтронов, можно судить о наличии воды или органических соединений.

Таким образом, например, контролируется влажность угля на тепловых станциях с целью оптимизации сжигания угля и повышения эффективности котлов и оборудования, влажность кокса на металлургических заводах, исходных материалов (песка и цемента) в производстве бетона, влажность грунта в строительстве и др.

### *Определение состава*

Радиоактивные излучения позволяют определять состав облучаемой среды по изменению интенсивности проходящего или отраженного излучения или по вторичному излучению, возникающему в результате активации элементов среды падающим излучением. В одних случаях проводится определение какого-либо параметра (например, плотности, естественной радиоактивности пород), что позволяет определять породу, вещество или материал по этому параметру. В других случаях необходимо знание элементного состава исследуемой среды. Оба эти подхода широко применяются в промышленности.

В горнорудной промышленности радиоизотопные методы и приборы находят применение при сортировке и обогащении полезных ископаемых. С помощью ядерных излучений можно отделять пустую породу от угля. Для этого над лентой транспортера устанавливается радиоизотопный источник. Детектор улавливает разницу в поглощении излучения углем и пустой породой, в результате чего приводятся в действие устройства, сбрасывающие пустую породу. Аналогичным образом

можно производить обогащение руды. Регистрация естественной радиоактивности позволяет отделять от пустой породы урановую и ториевую руды, а также минералы, содержащие повышенные количества радиоактивных элементов (калия, урана, тория).

Одним из интересных применений излучения радиоактивных источников является обнаружение алмазов в кимберлитовой руде. Если над лентой транспортера с рудой установить источник гамма-излучения, то алмазы, попадая в зону облучения, начинают светиться.

Для контроля обогащения нерадиоактивных руд используется активация содержащихся в них элементов медленными нейтронами, в результате облучения образуется захватное гамма-излучение, регистрация которого позволяет отделять пустую породу от руды с повышенным содержанием металла. Этот метод целесообразно применять для обогащения руд, содержащих элементы с большими сечениями захвата нейтронов, таких как Au, Ag, Ca, Mn, Hg, W и др.

### *Измерение скорости и расхода*

Радиоактивные излучения применяются также для определения расхода жидких, сыпучих и газообразных веществ. В этом случае задача сводится к определению скорости движения вещества, например, по трубопроводу. Для определения скорости используется ионизирующая способность радиоактивных излучений.

Метод измерения расхода газа заключается в том, что газопровод в выбранном сечении облучается импульсным потоком радиоактивного излучения. Внутри образуются ионы, которые переносятся вместе с потоком газа и вызывают импульсы тока в детекторе, расположенном на некотором расстоянии. Измеряя среднее время переноса ионов на фиксированном расстоянии, судят о скорости движения или расходе газа.

В другом методе измерения расхода используется ионизационная камера, расположенная в газовом потоке. Газ в рабочем объеме камеры ионизируется потоком  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучения и регистрируется ионизационный ток камеры, величина которого зависит от скорости движения газа, так как при движении газа часть ионов уносится за пределы камеры и ионизационный ток уменьшается. Это позволяет измерять количество газа, прошедшего через данный объем.

Скорость жидкости можно определять с помощью вертушки, помещенной в поток. В этом случае на лопасти вертушки наносится радионуклид, регистрация излучения которого позволяет определить скорость вращения вертушки, а следовательно и скорость течения жидкости. Скорость жидкости можно также определять по времени распространения введенного в нее радионуклида.

### *Счет штучной продукции*

На поточных линиях радиоактивные излучения применяют для автоматического учета штучной продукции. Метод счета изделий заключается в ослаблении радиоактивного излучения объектом регистрации, прошедшим излучение детектором, связанным с электронно-релейным устройством счета изделий. При прохождении излучения между источником и приемником изменяется интенсивность падающего на детектор излучения, и электронно-релейное устройство преобразует поступающий сигнал в электрический импульс, попадающий на счетчик. Этот метод используется, например, в горнорудной промышленности для счета вагонеток с углем или рудой.

### *Дефектоскопия*

Качество металла, из которого изготовлены детали, определяет долговечность машин и сооружений. Поэтому необходимо выявить скрытые дефекты как в исходном металле, так и в изделиях, поскольку дефекты могут появиться и в процессе их изготовления. Особое значение приобретет контроль при сварочных работах. Контроль качества деталей и сварных швов осуществляется разными методами, среди которых видное место занимает дефектоскопия. Для выявления скрытых дефектов в материалах и конструкциях применяют различные виды радиоактивных излучений: рентгеновское и гамма-излучение, нейтроны.

Метод гамма-дефектоскопии основан на просвечивании контролируемых объектов гамма-излучением. Источник и детектор располагают по разные стороны объекта. Гамма-лучи, прошедшие через объект, ослабляются в зависимости от толщины, рода поглощающего материала и наличия дефекта. В зависимости от способа регистрации и измерения интенсивности гамма-лучей при просвечивании различают два метода: фотографический и ионизационный.

В промышленности строительных материалов и при производстве строительных работ гамма-дефектоскопия широко применяется для контроля железобетонных деталей, сварных швов металлических конструкций и трубопроводов, а также сварных соединений стыков арматуры железобетонных конструкций. В качестве источника излучения обычно используется  $\text{Co-60}$ , а также  $\text{Cs-137}$ . Метод получения фотографического изображения в результате действия излучений на фотопленку называется радиографией. В результате удается получить высококачественные снимки железобетонных конструкций толщиной до 600 мм и сварных швов толщиной до 120 мм.

Однако фотографировать внутренние части предметов можно не только с помощью внешних источников излучения. Существует метод,

который называется автордиографией. В этом методе с помощью фотопластинок регистрируется собственная или привнесенная радиоактивность изделий и сред. Например, к сплаву добавляется небольшое количество радиоактивного изотопа элемента, входящего в сплав. Образец сплава, содержащего радиоактивную добавку, помещают на фотопластинку и по изображению определяют, насколько равномерно распределен данный элемент в сплаве. Это дает возможность контролировать технологию производства сплавов и наличие неоднородностей.

### ***Радиоизотопные приборы и автоматизация производственных процессов***

Радиационные приборы широко используются для автоматизации производственных процессов. Они обладают достаточно высокой точностью, большим сроком службы, широким диапазоном контролируемых параметров. На основе радиоизотопных источников работают многие релейные устройства в системах автоматического контроля и регулирования хода производственных процессов в строительстве, в машиностроении, в металлургии, в горном деле, в химической технологии и др.

Использование радиоактивных излучений для контроля и автоматизации производственных процессов основано на возможности с их помощью непрерывно измерять параметры среды (толщину, плотность, состав, скорость, концентрацию и др.). Включение радиоизотопных приборов в систему контроля и автоматики позволяет поддерживать эти и другие параметры на заданном уровне.

Радиационные приборы используются не только для управления технологическим процессом, но и для его немедленного прекращения в случае опасных технологических отклонений. В металлообрабатывающей промышленности, например, радиоизотопные приборы используются для блокировки станков, машин и автоматических линий в случае нарушения нормального хода процесса или для предотвращения несчастных случаев при неосторожных действиях персонала. Во многих других областях промышленности применяются многочисленные радиоизотопные устройства, сигнализирующие о достижении заданных пределов (уровня, давления, скорости и др.), а также прерывающие процесс, если контролируемые параметры становятся критическими.

Очень большое распространение получили радиоизотопные анализаторы дыма, которыми оборудуются системы противопожарной сигнализации служебных, общественных и производственных помещений. Принцип действия такого извещателя основан на использовании явления ионизации воздуха излучением. В камеру извещателя помещается радиоактивный изотоп  $^{239}\text{Pu}$ ,  $\alpha$ -излучение которого ионизирует воздух в камере и делает

его электропроводящим. Если к электродам камеры приложить напряжение, то через нее потечет ток. Попадание частиц дыма в камеру приводит к увеличению вероятности рекомбинации ионов и электронов, и следовательно к уменьшению протекающего тока. В результате соответствующая электрическая схема приводит в действие световую и звуковую сигнализацию или автоматические устройства пожаротушения.

Все радиоактивные источники, используемые в приборах и устройствах технологического контроля, находятся в специальном контейнере и для обслуживающего персонала, при правильном обращении с ними, опасности не представляют.

### *Использование ядерных излучений в химической технологии*

Под действием ядерного излучения в веществах образуются активные в химическом отношении ионы, возбужденные атомы и молекулы. Это приводит к тому, что увеличивается скорость протекания химических реакций, а также становятся возможными реакции, которые при других условиях не протекают. Поэтому ядерные излучения применяются в промышленных масштабах для получения новых материалов или придания известным материалам новых свойств. Наибольшее развитие получила радиационная обработка полимерных веществ, состоящих из макромолекул органического происхождения. К природным полимерам относятся такие вещества, как целлюлоза, шерсть, натуральный каучук. Искусственные полимеры получают из низкомолекулярных соединений – мономеров (например, этилена) путем полимеризации, в результате которой из мономеров образуются макромолекулы. Таким образом получают большинство полимерных материалов: химические волокна (капрон, лавсан и др.), полиэтилен, фторопласты, стеклопластики, синтетический каучук и другие материалы. В традиционной технологии для получения полимеров требуются повышенные температуры и давление.

Применение радиационной обработки позволяет осуществлять полимеризацию практически в нормальных условиях и получать материалы более высокого качества. Радиационным методом можно осуществлять полимеризацию таких мономеров, которые вообще иными способами не синтезируются. Облучение вызывает ионизацию молекул, которые затем соединяются в макромолекулы. Так, с помощью облучения получают из этилена полиэтилен, из стирола – полистирол и др. Процесс можно регулировать изменением интенсивности облучения. Радиационная полимеризация может происходить при любом состоянии мономера: твердом, жидком или газообразном.

Широкое применение в химической промышленности получила также модификация материалов, основанная на методах радиационного

сшивания полимеров. При этом характеристики исходных полимеров существенно улучшаются. При получении сополимеров к молекулам полимера одного химического состава и строения прививаются молекулы полимера другого химического состава. Таким образом, например, получают ионообменные мембраны.

Разработана технология получения бетонов на основе полимерных вяжущих веществ (полимербетонов) путем облучения их гамма-лучами или электронами. Облучение существенно упрощает и ускоряет процесс полимеризации полимеров в бетоне. Облучение бетона можно осуществлять непосредственно в конструкции. Полимербетоны практически не подвержены коррозии и применяются всюду, где требуется высокая прочность. Широкое распространение получили также методы улучшения свойств волокон и тканей, основанных на процессах полимеризации с помощью излучений. Облучение полимеров, составляющих волокна и ткани, производится в присутствии мономеров, в результате чего образуются новые полимерные цепи, привитые к макромолекулам исходного материала. Полученные таким образом модифицированные волокна и ткани по ряду характеристик существенно превосходят исходные материалы. Приобретаются такие свойства, как устойчивость к гниению, сминанию и др.

С помощью гамма-излучения можно также внедрять молекулы полимера в волоконную основу ткани. Такая ткань не гниет в почве.

Гамма-излучение большой энергии может инициировать некоторые химические реакции. Примером является производство этилбромиды ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ), летучей органической жидкости, которую используют в качестве промежуточного соединения в синтезе органических материалов. Гамма-излучение, испускаемое радиоактивным изотопом кобальт-60, играет роль катализатора в реакции бромистого водорода ( $\text{HBr}$ ) и этилена ( $\text{CH}_2\text{CH}_2$ ). Гамма-кванты являются в этой реакции лучшим катализатором, по сравнению с химическими катализаторами. В настоящее время гамма-катализ применяется при производстве тысяч тонн этилбромиды в год. С помощью гамма-облучения из этилена производится полимер полиэтилен, имеющий большое значение в промышленности.

В настоящее время разработан новый тип деревянного настила. В нем используется древесина, пропитанная пластмассой и подвергнутая затем воздействию гамма-лучей. В результате изменяется молекулярная структура пластмассы и получается поверхность, которая не царапается и не воспламеняется. При этом внешний вид остается неизменным, но древесина приобретает исключительную прочность. Добавочная стоимость обработки окупается повышенным сроком службы. Аналогичным методом изготавливается строительная черепица с улучшенной износостойкостью и повышенной прочностью.



Облучение электронами или гамма-квантами может изменять различные свойства таких полимеров, как полиэтилен. Исходный полимер состоит из очень длинных параллельных цепочек молекул. В результате облучения эти цепочки соединяются (этот процесс называется образованием перекрестных связей). Облученный полиэтилен имеет лучшую теплостойкость и является отличным изолятором проводов. В результате стандартный кабельный полиэтилен при температуре 120 °С сохраняет свои свойства в течение нескольких десятков часов, при дальнейшем повышении температуры на несколько градусов он начинает «течь», в то же время облученный полиэтилен даже при температуре 160 °С сохраняет свои качества свыше 10 000 ч, а при температуре 120 °С его работоспособность практически не ограничена. Этот качественно новый материал способен выдерживать кратковременные температурные нагрузки до 350 °С и обладает повышенной устойчивостью к пробойному электрическому напряжению. Его сопротивление при повышении температуры остается практически неизменным, сопротивление же обычного полиэтилена уменьшается в 10 000 раз.

Эффективным промышленным методом улучшения свойств древесины является ее пропитка мономерами с последующим отверждением в древесине с помощью облучения. В этом случае радиационная полимеризация происходит также в нормальных условиях. В результате получают материалы (древесные пластики) с высокой прочностью, химической стойкостью и термостойкостью, существенно снижается их способность поглощать воду. Метод используется для сохранения изделий из дерева, представляющих историческую и художественную ценность.

Радиационное облучение применяется для структурной модификации вещества в производстве самых различных материалов и изделий, в том числе для отверждения покрытий, нанесенных на пленки, деревянные изделия, фольги, для отверждения магнитных покрытий материалов для звуко- и видеозаписи и др.

Последние годы значительный прогресс был достигнут в области создания нового каучукового материала с использованием радиационной вулканизации натурального латекса, являющегося одним из наиболее важных сырьевых материалов. Технология основана на использовании гамма-излучения для вулканизации, т. е. процесса, с помощью которого осуществляется химическая связь молекул, придающая каучуку эластичность и прочность. Использование излучений позволяет отказаться от применения технологических процессов, в результате которых резиновые изделия могут содержать токсичные и канцерогенные вещества. Это очень важно для применения резиновых изделий в медицине, так как основная часть каучука идет на изготовление хирургических перчаток, дет-

ских воздушных шаров, сосок и пустышек, презервативов, катетеров и других изделий, которые должны отвечать высоким требованиям.

Радиационная вулканизация является перспективной технологией в производстве автопокрышек автомобилей. Качество изделий не хуже, а в некоторых отношениях даже лучше, чем в обычной технологии с применением серы, но существенно улучшаются условия производства.

Радиационная технология является менее энергоемкой и, как правило, более безопасной и экологически чистой, более экономичной.

### ***Ионная имплантация***

Новым и перспективным технологическим процессом является ионная имплантация. Суть этого процесса заключается в облучении какого-либо материала ускоренными ионами примесного вещества, которые имплантируются (внедряются) в поверхностный слой материала.

Ионная имплантация изменяет свойства поверхностей облучаемых материалов и открывает огромные возможности для придания им новых и полезных свойств. Эта технология позволяет внедрить в поверхность определенное количество почти любого химического элемента. Внедрившиеся ионы соединяются с атомами основного вещества и образуют поверхностный слой толщиной в несколько десятков нанометров, свойства которого могут сильно отличаться от свойств поверхности основного вещества. Пучок ионов ускоряется до энергии 10...500 кэВ. Наиболее вероятная длина пробега ионов с такой энергией в металлах лежит в диапазоне 10...1000 мкм. Меняя энергию ионов, можно изменять глубину проникновения и, следовательно, толщину слоя и его местоположение по глубине. Время облучения и количество внедренных ионов зависит от плотности потока ионов.

Применение ионных пучков произвело революцию в микроэлектронике. Ионная имплантация путем изменения электрических свойств полупроводников позволила создать быстродействующие полупроводниковые устройства. Ионные пучки позволили не только обрабатывать полупроводники с целью получения электрической проводимости требуемого типа, но и создавать новые полупроводниковые среды.

Что касается металлов, то в этом случае наиболее важной является задача изменения их механических и химических свойств. Ионная имплантация может существенно улучшить характеристики поверхностей металлических изделий: повысить их прочность и износостойчивость, сопротивление к окислению и коррозии, уменьшить коэффициент трения или изменить в лучшую сторону ряд других свойств.

Облучение ионами поверхностей изделий с целью уменьшения трения и износа находит широкое применение в производстве подшипни-

ков, прецизионных приборов, металлообрабатывающих штампов и др. Например, имплантация азота замедляет износ некоторых марок сталей в десятки и даже сотни раз. В хирургии методом имплантации можно существенно повысить качество (износостойкость) протезов тазобедренных суставов, которые изготавливаются из титанового сплава. Можно привести множество примеров, когда после имплантации резко возрастает коррозионная стойкость металлических сплавов. Новые технологии требуют не только новых материалов, но и предъявляют новые требования к старым. С помощью этого метода можно создавать поверхности с новыми свойствами у таких диэлектриков, как стекло, керамика и полимеры.

Одним из ярких примеров является улучшение методов ионной имплантации фоточувствительности ферроэлектрической керамики, которая может регистрировать изображение, если ее подвергнуть одновременному действию ультрафиолетового излучения и электрического поля. Облучение ионами алюминия и аргона увеличивает фоточувствительность керамики более чем в 10 000 раз.

Имплантация позволяет сделать проводниками самые различные полимеры и заменять ими проводники из металлов.

Имплантация – это не только перспективный технологический процесс, но и инструмент для научных исследований. Ионные пучки можно использовать для моделирования физических и химических факторов, действующих на материалы, для изучения в лабораторных условиях поведения материалов в различных средах. Ионные пучки успешно применяются для моделирования действия радиации и сильного нейтронного излучения на материалы, применяемые в реакторостроении. Ионная имплантация, позволяющая создавать в металлах любую концентрацию примесей, стала мощным средством исследования поведения веществ в сплавах.

### ***Промышленное строительство***

Исследуются физические и химические процессы, связанные с производством цемента, бетона и других строительных материалов. Исследуется равномерность смешивания грунтов со связующими материалами (цементом, известью). Используется для этого  $^{45}\text{Ca}$  ( $\beta$ -лучи с энергией 0,25 МэВ). Радионуклид  $^{51}\text{Cr}$  применяется для изучения процессов движения цемента по цементопроводам при пневматической транспортировке.

Одной из задач в промышленном строительстве является проверка работы вентиляции. Нужно определить коэффициент обмена воздуха. Для этого в систему вентиляции вводится некоторое количество газообразных соединений, меченных радиоактивными изотопами (например, бромистый метил, меченный радиоактивным  $^{82}\text{Br}$ ), и измеряется активность воздуха в помещении в зависимости от времени при работающей системе.

Важной задачей как при сдаче объектов в эксплуатацию, так и в процессе эксплуатации является обнаружение мест утечек из тепло- и газопроводов, в том числе подземных. Введение радионуклидов внутрь системы и последующее измерение снаружи радиоактивности позволяет обнаружить место утечки, даже если система расположена на глубине. Так, при испытании газопроводов в них накачивают воздух с примесью  $^{133}\text{Xe}$  или паров бромистого метила с добавкой  $^{82}\text{Br}$ .

Для обнаружения утечки в отопительных системах можно вводить поваренную соль  $\text{NaCl}$  с добавкой радиоактивного натрия. Следует заметить, что используются радионуклиды с коротким периодом полураспада (от нескольких часов до нескольких дней), поэтому через некоторое время первоначальная малая радиоактивность практически совсем исчезнет.

Радионуклиды применяются для изучения процесса диффузии и самодиффузии, в исследовании работы доменных и мартеновских печей, процесса кристаллизации стали и др. Изучается распределение фосфора и серы между металлом и шлаком, выявляются оптимальные условия для получения чистого металла. Сталь должна быть максимально однородной и не должна содержать шлаков и других неметаллических включений. В связи с этим исследуются процессы перемешивания составляющих сплав металлов (например, хрома с добавлением радиоактивного нуклида  $^{51}\text{Cr}$ ). Для этого отбираются пробы из различных мест и через разное время измеряется их радиоактивность. Так, можно установить время, необходимое для полного перемешивания легирующих добавок. Для обнаружения источников загрязнения стали неметаллическими включениями радиоактивные изотопы добавляются к огнеупорным материалам. По радиоактивности металла определяется источник и степень загрязнения, а также целесообразность применения данного огнеупора.

Использование радионуклидов помогло решить проблему контроля за износом футеровки внутренней теплоизоляции, состоящей из огнеупорных кирпичей доменных печей. Слабые источники излучения вмуровывают в футеровку на разных расстояниях по ее толщине, и внешним детектором измеряют радиоактивность. По мере разрушения футеровки, источники излучения попадают вместе с футеровкой в печь, в результате чего интенсивность излучения, регистрируемая детектором, падает. По уменьшению уровня радиоактивности можно судить о степени износа футеровки, предотвратить аварийное состояние и своевременно остановить печь для ремонта.

При трении происходит износ поверхности и мельчайшие частицы металла попадают в смазочное масло. По радиоактивности масла можно сделать заключение о скорости, а также степени износа трущихся поверхностей задолго до появления каких-либо видимых признаков износа. Применяется также автордиография. Этот метод позволяет путем

добавления в сплавы небольшого количества радиоактивных нуклидов исследовать износ работающих машин в условиях их эксплуатации, определять места наибольшего износа, изучать условия, при которых износ минимален. Метод эффективно применяется при изучении износа деталей в двигателях и станках, штампах, режущих инструментах и др. Результаты исследований используются для усовершенствования машин и инструментов с целью повышения срока их службы, улучшения характеристик, уменьшения эксплуатационных и ремонтных расходов.

Во многих отраслях промышленности, таких как химическая, текстильная, бумажная, полиграфическая, резинотехническая, фотокиноплёночная, серьёзную проблему в процессе производства материалов представляет появление вследствие трения статического электричества. Особенно сильно электризуются синтетические материалы. Электризация заметно влияет на производительность и качество продукции, нередко приводит к самовозгоранию, создает повышенную опасность для обслуживающего персонала. Для защиты от вредного воздействия электрических зарядов наибольшее распространение получила их нейтрализация радиоактивным излучением. Для этого используются  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучение, имеющие высокую ионизирующую способность. Источник излучения помещается рядом с поверхностью материала, и образующиеся в воздухе в результате облучения ионы нейтрализуют заряды, возникающие на материалах. В качестве источников применяют такие изотопы, как  $^{239}\text{Pu}$ , Th и др.

Ядерные излучения могут быть эффективно использованы для решения такой серьёзной проблемы, как очистка отходящих газов. Известно, что использование угля и углеводородов в качестве топлива создает серьёзные проблемы для окружающей среды из-за образования и поступления в атмосферу токсичных газов диоксида (серы  $\text{SO}_2$ ) и оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). Следствием загрязнения атмосферы этими газами являются кислотные дожди, наносящие большой ущерб сельскому хозяйству и ускоряющие также коррозию материалов. В настоящее время для улавливания этих газов применяются два разных химических процесса. Для решения этой проблемы, к тому же с большей эффективностью, можно использовать пучок электронов с энергией в несколько сотен мегаэлектронвольт. Облучение отходящих газов электронами высокой энергии ионизирует и возбуждает молекулы, что приводит к образованию активных свободных радикалов, ионов и молекул в возбужденных состояниях. Они более активно могут реагировать между собой, с кислородом и водой, присутствующими в системе, или с химическими компонентами, добавляемыми специально, что приводит к образованию продуктов, которые могут быть осаждены более удобными средствами. Так, введение аммиака в отходящие газы и облучение их электронами приводит к удалению  $\text{SO}_2$

и  $\text{NO}_x$  одновременно с эффективностью 100 % и 85...90 %, соответственно. Полученные побочные продукты в виде нитратов и сульфатов аммиака могут быть использованы в качестве удобрений.

### *Радиоактивный каротаж скважин*

Одним из основных современных методов разведки новых месторождений нефти и некоторых других полезных ископаемых является радиоактивный каротаж скважин, основанный на различии процесса распространения нейтронов и  $\gamma$ -лучей в разных породах. В скважину помещается источник  $\gamma$ -лучей или нейтронов, выше источника – разделяющий фильтр (из свинца для  $\gamma$ -источника, из парафина – для источника нейтронов), а над фильтром – детектор. Скорость счета детектора зависит от свойств среды. В зависимости от источника и рода детектируемых частиц различают  $\gamma$ -каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж и нейтрон- $\gamma$ -каротаж. В  $\gamma$ - $\gamma$ -каротаже скорость счета падает с увеличением плотности окружающей породы, поэтому этот вид каротажа называют каротажем плотности. Аномально малая плотность угольных пластов хорошо идентифицируется  $\gamma$ - $\gamma$ -каротажем. Более разнообразную информацию дает нейтронный каротаж. Распространение нейтронов в горной породе тем хуже, чем больше в ней водорода, так как в водороде нейтроны быстро замедляются, а замедлившись, поглощаются. Содержание водорода велико как в нефти, так и в воде. Однако нефть практически не содержит примесей, а в воде всегда растворена поваренная соль, ядра хлора которой энергично поглощают нейтроны испусканием  $\gamma$ -квантов. В результате в нейтрон-нейтронном каротаже счет детектора более высок для нефти, чем для воды, в нейтрон- $\gamma$ -каротаже – наоборот. Это дает возможность уверенно отличать нефтяные пласты от водных.

## **8.2. Медицина**

В настоящее время лечение онкологических заболеваний включает в себя хирургические, лучевые, гормональные, лекарственные методы лечения. Благодаря развитию этих методов, наблюдается стойкая тенденция к улучшению результатов лечения онкологических больных, причем более 50 % больных сегодня практически излечиваются. В Европе в настоящее время живут около 10 млн человек, перенесших эти заболевания, 50 % из которых получали лучевое лечение. Роль ионизирующих излучений в этой комплексной терапии определяется видом злокачественного новообразования, периодом заболевания и другими факторами. В развитых странах около 70 % всех онкологических больных проходят курс лучевой терапии. Имеется тенденция к увеличению использования ионизирующих

излучений при лечении злокачественных опухолей. Лучевая терапия (ЛТ) – раздел клинической медицины, связанный с использованием ионизирующего излучения в качестве основного лечебного фактора. Образно выражаясь, ионизирующее излучение при этом является «лучевым скальпелем», задача которого «вырезать» опухоль с минимальным поражением окружающих здоровых органов и тканей. Активное применение достижений ядерной и радиационной физики в медицинских целях привело к созданию многих новых источников и аппаратов для лучевого лечения онкологических больных. В связи с этим появилась необходимость сравнительного анализа и систематики различных видов ионизирующих излучений, используемых для терапии. Кроме самого облучения, радиотерапевтическая технология включает диагностическую поддержку, предлучевую топометрическую подготовку, клиническую дозиметрию и измерения радиационных характеристик аппаратов, дозиметрическое планирование, иммобилизацию пациентов, формирование поля облучения, визуальный контроль области облучения, вопросы гарантии качества, радиационной безопасности и компьютерного сопровождения. Будущие медицинские физики, радиобиологи и врачи-радиологи должны иметь достаточно полное и правильное представление об этой весьма сложной системе технологического и аппаратного обеспечения лучевой терапии.

### **8.2.1. Лучевая терапия**

Хорошо известно, что зарождение и развитие жизни на Земле в течение многих тысячелетий происходило при наличии ионизирующего излучения (ИИ). Однако сознательно человечество начало осмысливать проблемы использования ИИ только с конца XIX века, когда К. Рентген открыл X-лучи (рентгеновское излучение, 1895 г.), А. Беккерель – естественную радиоактивность урана (1896 г.), а П. и М. Кюри обнаружили радиоактивные свойства полония и радия (1898 г.).

В первые же годы работы с неизвестными ранее излучениями было установлено, что они обладают положительными и отрицательными для человечества свойствами. Первой открылась и привлекла внимание ученых положительная сторона явления. Когда К. Рентген 23 января 1896 г., обобщая свои исследования, в триумфальном выступлении на заседании общества естествоиспытателей в Вюрцбурге под овации всей аудитории произвел просвечивание руки председателя общества, стало ясно, что человечество получило в свое распоряжение совершенно необыкновенные, неизвестные до сих пор возможности.

Первоначально рентгеновские снимки производились, главным образом, для распознавания в теле человека инородных металлических тел, переломов и заболеваний костей.

Однако оказалось, что новое и еще плохо изученное явление таит в себе и опасность. Уже в том же 1896 г. в печати появились сообщения о поражении кожи (эритемах, дерматитах) у лиц, подвергавшихся частым и продолжительным воздействиям X-лучами при проведении экспериментов. Французский ученый, будущий лауреат Нобелевской премии, П. Кюри после появления таких сообщений тотчас провел опыты с радиоактивным источником на собственном предплечье. К его великой радости, участок кожи, соприкасавшийся с радием, оказался пораженным. Такой результат, а также наблюдения и эксперименты на животных дали основание П. Кюри вместе с учеными-медиками Бушаром и Бальтазаром прийти к выводу о лечебном действии излучения на известное заболевание – волчанку.

29 января 1896 года доктором Джилманом из Чикаго предпринята первая, достаточно успешная попытка использовать рентгеновское излучение для лечения рака. Но через несколько лет была выявлена и другая опасность рентгеновского излучения. В 1902 году, семь лет спустя после открытия рентгеновских лучей, оператор завода, где производились рентгеновские трубки, который постоянно использовал свою руку для просвечивания при испытаниях трубок, обнаружил опухоль на коже руки, подвергавшейся постоянному просвечиванию.

Уже из приведенных примеров видно, что полезным свойствам ИИ иногда сопутствовали и нежелательные последствия. Ситуация, безусловно, усугублялась тем, что в те далекие годы первооткрыватели практически ничего не знали о действии излучения. Радиоактивная пыль носилась в их лабораториях, сами экспериментаторы спокойно брали в руки радиоактивные препараты, держали их в карманах, не ведая об опасности. В одном из музеев мира хранится записная книжка П. Кюри. Ее листки и в настоящее время, через десятилетия после того, как он вел записи, являются источником излучения. Если листок положить на фотопластинку и проявить ее, то можно обнаружить следы пальцев, державших его несколько десятилетий назад.

Полное отсутствие знаний о характере биологического воздействия ИИ привело к тому, что человечество в первые два десятилетия исследования ИИ заплатило высокую цену за открытие и продвижение к тайнам природы. В Гамбурге в 1936 году воздвигнут памятник тем, кто прокладывал путь к эффективному и безопасному использованию человечеством рентгеновских лучей и радиоактивных источников излучения. На памятнике высечены имена 169 человек, умерших в результате работы с источниками ионизирующего излучения.

Если исследователи, закладывавшие основы для эффективного использования человечеством источников ИИ, готовы были на себе испы-



тывать действие излучений, то реакция обывателя тех далеких лет по отношению к новому открытию была и курьезной и воинствующей одновременно. Так, некоторые нью-йоркские газеты писали, что новые лучи способны фотографировать души умерших. Одна из них сообщила, что рентгеновские лучи применяются для проецирования анатомических картин прямо в мозг студентов. Член Законодательного собрания в Нью-Джерси Рид 19 февраля 1896 года внес законопроект, запрещающий из этических соображений использовать рентгеновские лучи в театральных биноклях. Раздраженная ситуацией лондонская «Пэл Мэл газет» писала в передовой: «Самое лучшее, что нужно сделать цивилизованным странам, – это объединиться и сжечь все рентгеновские лучи, а оборудование утопить в океане. Пусть рыбы разглядывают свои кости». Многие жители Германии в письмах непосредственно к К. Рентгену просили его прислать рентгеновские лучи по почте.

Однако, несмотря на подобное отношение обывателя к новому открытию, интенсивность работ, связанных с ИИ, постепенно нарастала, и трагический опыт первого поколения исследователей не пропал даром. Началась разработка мероприятий по защите от радиационной опасности. Наряду с этим приступили к изучению биологического действия ионизирующих излучений на живую материю.

К настоящему времени масштабы использования источников ИИ и ядерной энергии неизмеримо выросли по сравнению с начинаниями, имевшими место в начале века. Сейчас трудно указать сферу человеческой деятельности, в которой бы в той или иной мере, прямо или косвенно не использовались ионизирующие излучения и радиоактивные изотопы.

### ***Рентгенотерапия***

Приблизительно до 1950 года дистанционная лучевая терапия внешним пучком проводилась рентгеновскими лучами, образующимися при напряжении до 300 кВ. Но впоследствии в 50–60-х годах успехи в создании установок с более высокой энергией пучка и возросшая популярность радиоактивных источников  $^{60}\text{Co}$  привели к постепенному отказу от обычных низкоэнергетических киловольтных установок, хотя полностью они не исчезли. Термин ортовольтная терапия (или глубокая терапия) применяется для описания облучения рентгеновскими лучами, образующимися при ускоряющих потенциалах от 150 до 500 кВ. Максимум дозы расположен вплотную к поверхности кожи, а 90%-я доза – на глубине около 2 см. Таким образом, кожа подвергается наиболее сильному воздействию излучения даже в тех случаях, когда не является мишенью. Существуют и другие недостатки ортовольтного облучения: высокая поглощенная доза в кости и увеличение рассеяния

в костной ткани, что делает его неприемлемым для облучения опухоли, расположенной за костью.

Несмотря на это, ортовольтная рентгенотерапевтическая аппаратура продолжает играть определенную роль при облучении поверхностно расположенных опухолей, поскольку дозное распределение низковольтного рентгеновского излучения при некоторых формах поверхностного рака более рационально, чем электронов, и, кроме того, исключается возможность использования дорогостоящего времени ускорителей. Так, при лечении опухолей кожи и век короткофокусная рентгенотерапия применяется в 80 % случаев.

### *Радионуклидная дистанционная $\gamma$ -терапия*

Использование радиоактивных источников  $\gamma$ -квантов в дистанционной лучевой терапии в настоящее время имеет широкое распространение. В мире количество установок с использованием естественных радиоактивных источников составляет десятки тысяч. На этих установках проходят курс лечения сотни тысяч онкологических больных ежегодно. В дистанционной терапии в качестве источников гамма-лучей использовались такие радионуклиды, как  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Однако из всех источников самым подходящим для лучевой терапии внешними пучками оказался  $^{60}\text{Co}$ , при распаде которого образуется два фотона с энергией 1,17 МэВ и 1,33 МэВ. Его преимуществом перед радиевым и цезиевым источниками является прежде всего возможность получать более высокую удельную активность (кюри/грамм), а также высокая средняя энергия фотонов. Максимум дозы при использовании гамма-излучения  $^{60}\text{Co}$  сдвинут с поверхности тела вглубь на 0,5 см, что уменьшает облучение кожи. Источник  $^{60}\text{Co}$  получают путем облучения нейтронами из реактора стабильного изотопа  $^{59}\text{Co}$  в реакции  $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ . Он представляет собой сплошной цилиндр диаметром 1...2 см, диск или пластинку, упакованную в две сварные или герметизированные капсулы из нержавеющей стали. Располагается источник в корпусе или головке гамма-установки, из нижней части которой выходит пучок. В настоящее время в клиниках широко применяются гамма-терапевтические аппараты с  $^{60}\text{Co}$  активностью порядка 5 000 Ки, позволяющие осуществлять различные геометрии и режимы облучения. Дистанционное облучение может быть статическим или подвижным. Статическое облучение производится через одно или несколько входных полей на коже пациента и называется, соответственно, однопольным или многопольным. Многопольное облучение позволяет уменьшить дозу на поверхностных тканях. При проведении подвижного облучения источник все время движется вокруг пациента, оставаясь при этом «наведенным» на патологический очаг. Преимуществом этого

метода является еще более значительное снижение дозы в окружающих здоровых тканях. Однако общий объем облучаемых тканей, а следовательно, и интегральная поглощенная доза при подвижном облучении возрастают. Наиболее распространены три способа подвижного облучения: ротационное (источник перемещается по окружности с центром в мишени и применяется при глубоко расположенных опухолях), секторное (источник перемещается по дуге в пределах выбранного угла), касательное (пучок направлен по касательной к телу больного, проходя под его поверхностью на небольшой глубине, и применяется при плоских поверхностно расположенных опухолях большой протяженности). Гамма-излучение радиоактивного кобальта наиболее широко используется при лечении рака молочной железы, мочеполовой системы, головы и шеи.

### *Терапия высокоэнергетичными фотонами*

В ускорителях электронов – линейных, бетатронах и микротронах – получают пучки электронов высоких энергий. Эти пучки используются либо непосредственно для облучения, либо их «сбрасывают» на тормозную мишень, в которой образуется пучок тормозных фотонов, имеющий спектр сложной формы, называемый тормозным.

При энергии фотонов 20...25 МэВ максимум ионизации приходится на глубину 3...5 см. При этом ткани, находящиеся перед указанным максимумом, получают не более половины дозы. Недостатком данного вида излучения является сравнительно медленный спад дозы.

В настоящее время при выборе вида источника излучения предпочтение отдается аппаратам, генерирующим высокоэнергетические фотоны и электроны, т. е. различного вида ускорительным системам (бетатронам, микротронам, линейным ускорителям). Это обусловлено известными преимуществами последних перед гамма-терапевтическими установками: уменьшением полутени, возможностью изменения энергии фотонов, снижением радиационной опасности для медицинского и инженерного персонала и отсутствием необходимости захоронения радиоактивных источников.

Энергия используемого излучения зависит от локализации опухоли. Так, тормозное излучение с энергией 4...6 МэВ наиболее широко используется при опухолях головы и шеи (55 %), лимфомах (60 %), заболеваниях центральной нервной системы (70 %); а с энергией 8...25 МэВ – при новообразованиях костей (50 %), мочеполовой системы (75 %), желудочно-кишечного тракта (95 %), легкого (90 %) и женской половой сферы. При глубоко расположенных опухолях применяют облучение с двух или более входных полей пучками, пересекающимися в области мишени. При этом очаговая доза оказывается гораздо выше поверхностной.

При некоторых формах злокачественных заболеваний (например, при лимфогранулематозе) применяют тотальное облучение высокоэнергетичными фотонами всего тела.

### *Терапия пучками электронов*

Помимо  $\gamma$ -квантов используются в некоторых случаях, прежде всего при облучении поверхности, и непосредственно пучки электронов. На выходе из ускорителя электронный пучок представляет собой тонкий луч диаметром около 3 мм. Он направляется на рассеивающую фольгу для равномерного облучения мишени.

Наиболее эффективны электроны с энергиями от 4 до 20 МэВ. Они имеют среднюю длину свободного пробега 2...6 см, испытывают большое количество столкновений из-за их небольшой массы, что приводит к большому углу рассеяния пучка электронов в веществе. Распределение дозы таких пучков, достигнув максимума, спадает существенно быстрее, чем доза  $\gamma$ -квантов, что позволяет избежать облучения ниже расположенных здоровых тканей. Электроны используют в тех случаях, когда проникновение луча в ткань должно быть ограничено несколькими сантиметрами ( $< 5$  см). Максимум дозы, поглощенной в теле пациента, находится не на поверхности, а смещен вглубь на 0,1...2,5 см. Этого оказывается достаточно для того, чтобы кожа не получила ожог при облучении. Пучки ускоренных электронов применяют при лечении неглубоко залегающих опухолей, рака кожи и губ; при облучении грудной клетки при раке груди. К специальным методикам использования электронов в лучевой терапии относятся: подвижное облучение электронами, интраоперационная лучевая терапия, методика тотального облучения кожи. Подвижное облучение проводится при перемещении источника по дуге, изоцентр которой расположен на некоторой глубине в теле пациента. При подвижном облучении максимум дозы смещается на большую глубину по сравнению со статическим пучком той же энергии, уменьшается доза на поверхности. Объясняется это тем, что при подвижном облучении области, расположенные глубже в ткани и, следовательно, ближе к изоцентру, облучаются в течение более длительного времени, чем лежащие ближе к поверхности. Эти эффекты становятся более выраженными с увеличением энергии электронов.

Интраоперационная лучевая терапия – это метод лечения онкологических больных однократным подведением высокой дозы, когда доступ к мишени обеспечивается хирургическим путем и облучается либо сама опухоль, либо ложе после ее удаления. В операционную рану пациента в стерильных условиях вставляют специальный пластиковый или металлический тубус, который соединяется другим концом с облучающей го-

ловкой. Тубусы не только формируют поле облучения, но и экранируют от первичного излучения ткани и органы, находящиеся вне тубуса. Формировать поле интраоперационного излучения можно также с помощью аппликаторов. Для тотального облучения кожи используются электроны энергиями 2...9 МэВ. Таким образом, возможно адекватное облучение опухоли кожи с глубиной залегания не более 1 см. При различных типах кожных лимфом тотальное облучение можно проводить либо подвижным способом, либо облучать стоящего пациента несколькими большими полями при расстоянии от источника до поверхности от 2 до 6 м.

### *Протонная терапия*

Тяжелые заряженные частицы в поглощающей среде тормозятся главным образом из-за ионизационных потерь. Скорость потерь энергии пропорциональна квадрату заряда частицы и обратно пропорциональна квадрату ее скорости. Таким образом, с увеличением глубины проникновения энергетические потери на единицу пути тяжелых ионов и протонов (то есть поглощаемая веществом доза) увеличиваются и дают в конце пробега острый максимум – пик Брэгга. Зависимость энергетических потерь заряженной частицы от длины пробега носит название кривой Брэгга. Спад дозы от 90 % до 20 % может осуществляться на дистанции 3...5 мм. Из-за наличия пика Брэгга и небольшого, по сравнению с электронами, рассеяния протоны имеют преимущество в радиотерапии: возможность концентрации дозы внутри объема мишени, в конце пробега частицы, и минимизации дозы в окружающих здоровых тканях. Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) пучков протонов примерно такая же, как и у  $\gamma$ -излучения. Большое преимущество протонная терапия имеет при лечении опухолей, прилегающих к особо чувствительным к ионизирующему излучению органам (головному и спинному мозгу, сетчатке глаза и т. д.). Типичные энергии протонов в пучках, используемых для лечения, составляют 150...250 МэВ. Для облучения опухоли на всю ее глубину необходимо модифицировать острый пик Брэгга в равномерное в некоторой области распределение, т. е. облучать больного пучком протонов с набором энергий. Это достигается с помощью специальных фильтров, установленных на пути пучка. Обычно используют гребенчатые, вращающиеся, спиральные и другие фильтры. Принцип их действия сводится к преобразованию исходного моноэнергетического пучка в пучок с широким энергетическим спектром. Подбором соответствующих параметров можно добиться ширины и равномерности «плато» с заданной точностью. При прохождении пучка протонов внутри пациента на его пути встречаются различные неоднородности: сосуды, полости, кости и другие. При этом искажается фронт пучка, а также рав-

номерность распределения дозы. Одним из способов борьбы с этим эффектом является использование болюса – специального компенсатора неоднородностей, устанавливаемого непосредственно перед пациентом. За последние годы был получен большой опыт лечения больных протонами, главным образом в области онкоофтальмологии (почти 55 % случаев), радионейрохирургии (25 % случаев), которые составляют лишь 5...7 % в структуре онкологической заболеваемости. Имеется также небольшой опыт лечения больных с опухолями простаты, шейки матки, легких и некоторыми другими. Это лечение проводилось более чем в 20 лечебных Центрах мира, в том числе и трех российских Центрах (ИТЭФ, Дубна, Гатчина), созданных на базе ускорителей, действующих в научных Центрах. В настоящее время методы лечения с помощью протонов находят все большее применение. Планируется расширить сферу использования протонной лучевой терапии (ПЛТ) до 24...27 % от всей структуры онкологической заболеваемости. Дальнейшие перспективы этого метода связаны с нарастающим процессом создания специализированных госпитальных Центров протонной лучевой терапии.

«Повышение эффективности и снижение стоимости лечения рака сегодня доказаны», – сказал Дж. Слатер, директор протонного Центра «Лома Линдс» (LLPTC), приветствуя пациентов, собравшихся в ноябре 2000 г. в «Лома Линдс» на 10-летний юбилей этого Центра. – Наша система лечения протонным излучением успешна, хотя и остается младенческой в конечном счете».

В 1991 г. одним из них стал упомянутый выше создатель LLPTC Ф. Ливдал, у которого был диагностирован рак простаты. Он также стал первым пациентом, подвергнутым лучевой терапии в этом Центре в связи с такой формой рака. В возрасте 77 лет выздоровевший Ливдал присутствовал на юбилее LLPTC. Среди разновидностей злокачественных новообразований рак простаты у граждан США занимает второе место (после рака легких), в 1999 г. насчитывалось 180 тыс. чел. Такие больные составляют около половины пациентов, подвергнутых успешной протонной терапии в «Лома Линдс».

### ***Нейтронная терапия***

Подобно рентгеновским и  $\gamma$ -лучам, нейтроны являются косвенно ионизирующим излучением. Взаимодействие нейтронов с веществом происходит в результате действия двух механизмов:

- упругого потенциального рассеяния на ядре;
- ядерных реакций разных типов: радиационного захвата, реакции деления, реакции с образованием протонов или альфа-частиц и др.

Распад ядер приводит к возникновению вторичных продуктов реакций: тяжелых заряженных частиц, нейтронов,  $\gamma$ -лучей и дает повышение дозы в мягкой ткани примерно на 30 % по сравнению с ее значением в пике Брэгга. Пучки нейтронов высоких энергий для радиотерапии получают из ядерных реакций под действием заряженных частиц на циклотронах, линейных ускорителях или дейтерий-тритиевых (Д–Т)-генераторах, при распаде тяжелых ядер. Бомбардирующими частицами являются либо дейтроны, либо протоны, материал мишени обычно бериллий, за исключением (Д–Т)-генераторов, в которых в качестве мишени используется тритий. В результате реакции  ${}^2\text{H}+{}^3\text{H}\rightarrow{}^4\text{He}+n+17,6\text{ МэВ}$  в генераторах получают поток моноэнергетических нейтронов с энергией 15 МэВ. Нейтронные генераторы более привлекательны для терапии по сравнению с циклотронами, поскольку являются более компактными и дешевыми. Однако тритиевые мишени имеют небольшой срок службы. Используемые в терапии быстрые нейтроны – с энергией 10...15 МэВ – имеют дозовое распределение, близкое к  $\gamma$ -квантам, оставляя большую часть энергии на входе и прилегающих тканях и низкие дозы в объеме мишени. Поэтому превалирующими осложнениями после курса нейтронной терапии являются поражения кожи. Нейтроны характеризуются низкими значениями коэффициента поглощения, в связи с чем они могут проникать в вещество на большую глубину. В отличие от других типов ионизирующего излучения число актов ионизации, вызываемых нейтронами, в значительной степени зависит от элементарного состава вещества, через которое нейтроны проходят. Это обстоятельство сильно затрудняет их дозиметрию.

Основные достоинства быстрых нейтронов, как плотноионизирующего излучения, заключаются в следующем:

- нивелировка различий в радиочувствительности отдельных стадий клеточного цикла;
- более высокий выход двунитевых разрывов ДНК при менее выраженной их способности к репарации (причинами низкой репарируемости ДНК-повреждений считают образование сшивок ДНК–ДНК, ДНК–белок в плотно упакованном хроматине);
- меньшая зависимость эффекта поражения от концентрации кислорода.

Как показали исследования, раковые клетки некоторых злокачественных опухолей, обладающих повышенной устойчивостью к радиационному облучению, разрушаются при воздействии на них пучками быстрых нейтронов. К таким опухолям можно отнести большинство медленно растущих злокачественных новообразований, таких как аденома простаты, меланомы, опухоли головного мозга, шеи, слюнных желез, карциномы гортани и т. д.

Основная проблема нейтронной терапии – плохое распределение дозы, медленно спадающее с глубиной проникновения пучка частиц, высокие значения ОБЭ для вторичных частиц, возникающих в ядерных реакциях под действием нейтронов, а также различные осложнения, возникающие после применения курса лечения. В настоящее время разрабатывается два пути улучшения дозового распределения нейтронов.

Увеличение энергии нейтронов в пучке до нескольких десятков МэВ позволяет сместить пик максимальной дозы вглубь вещества. Второй способ улучшения распределения дозы связан с захватом медленных нейтронов ядрами бора (используется эффект резонансного захвата нейтронов). В этом методе бор внедряется в опухолевую клетку, затем облучается пучком тепловых или надтепловых нейтронов с энергией 0,025 эВ. После захвата нейтрона ядро бора расщепляется на альфа-частицу и ион лития, имеющих глубину проникновения порядка нескольких диаметров клетки (12...14 мкм). Таким образом, уничтожаются те клетки, в которые были внедрены ядра бора. Частицы одинаково детальны для оксигенированных, гипоксических или находящихся в стадии покоя клеток. Этот метод лечения опухолей получил название нейтронно-захватной терапии на боре. Он является относительно новым и весьма эффективным методом лучевой терапии злокачественных опухолей, особенно таких, где применение обычных методов не приводит к желаемым результатам или вообще невозможно.

В настоящее время использование нейтронной терапии получило поддержку в 25 специализированных Центрах мира, три из которых находятся в России (Обнинск, Томск, Снежинск).

Уральский центр нейтронной терапии представляет собой реально работающее клиническое объединение, соответствующее современным требованиям к учреждениям такого рода и оснащенное уникальным оборудованием. Уральский центр нейтронной терапии – первый в России Центр, открытый в практическом лечебном учреждении и действующий на конверсионной основе.

При создании центра нейтронной терапии преследовались две основные цели:

- обеспечение эффективного метода лечения онкологических больных, пораженных опухолями, нечувствительными к лучевому лечению обычными радиотерапевтическими аппаратами и установками, в том числе линейными ускорителями;
- создание дополнительных рабочих мест для сотрудников ФЯЦ – ВНИИТФ в плане реальной конверсии.

В состав Уральского центра нейтронной терапии входят Челябинский областной онкологический центр (г. Челябинск) и Федеральный



ядерный центр – ВНИИТФ им. акад. Забабахина (г. Снежинск – Челябинск-70), находящиеся в 95 км друг от друга.

В сентябре 1998 г. в плане реализации конверсионной программы были закончены работы по созданию первого в России уникального регионального Центра нейтронной терапии. Теоретическое обоснование проекта было начато в 1992 г. по инициативе начальника отдела НИО-5 ВНИИТФ-РФЯЦ к. ф.-м. н. Э.П. Магды и врача-радиолога ЧООД к. м. н. А.В. Важенина.

Фотонно-нейтронная терапия применяется в клинике с 1999 г. Курс сочетанной фотонно-нейтронной терапии начинается с этапа фотонного облучения в Челябинском областном онкологическом центре с использованием гамма-терапевтических аппаратов «Рокус-М», «Агат-Р», медицинских линейных ускорителей электронов «Philips» SL-15 и SL-20. Нейтронная терапия присоединяется либо в конце I этапа расщепленного курса, либо после 10–14-дневного перерыва.

С сентября 1999 по 2002 гг. в клинике накоплен опыт лечения 232 пациентов, имеющих опухоли головы и шеи. Всем им проведено радикальное фотонно-нейтронное облучение. Из 232 пациентов 70,7 % составили мужчины, 29,3 % – женщины, что вполне соответствует распределению по полу при патологии этих локализаций. Большая часть больных (70,6 %) в возрасте до 60 лет. Жители Челябинска составили 77,1 %, жители области – 22,9 %. У 76 % больных злокачественная опухоль имела морфологическую структуру плоскоклеточного рака. По локализации злокачественного процесса больные распределились следующим образом: рак гортани – 40,8 %, рак полости рта – 18,5 %, рак ротоглотки – 10,2 % и др. По степени распространенности злокачественного процесса больные распределились следующим образом: с I стадией заболевания – 19,7 %, со II стадией – 25,5 %, с III стадией – 30,6 %, с IV стадией – 19,7 % и 4,5 % – без стадирования процесса. Для купирования явлений радиоэпителиита у 75 % пациентов курс нейтронной терапии проводился на фоне терапии расфокусированным лазером. Это позволило избежать острых катаральных радиоэпителиитов и выполнить запланированную программу лечения в полном объеме. Выраженные лучевые реакции (пленочный эпителиит) были отмечены в 5,7 % случаев.

При оценке непосредственных клинических результатов выяснилось, что у 40,1 % достигнута полная резорбция опухоли, резорбция более 50 % опухоли достигнута у 7 % пациентов, менее 50 % – у 27,3 %. В результате проведенного сочетанного лучевого лечения в 73,3 % случаев достигнута полная ремиссия, в 6,4 % выявлены ранние рецидивы, в 10,8 % – неизлеченность процесса. В 10,4 % случаев оценить эффект от лучевой терапии не удалось из-за неявки пациентов на контрольный

осмотр. Все больные с неудовлетворительными результатами лечения имели местнораспространенный опухолевый процесс (III, IV стадии). Сроки наблюдения за пациентами составили от 2 мес. до 2,5 года. Результаты лечения аналогичных пациентов по традиционным методикам оказались в 1,5 раза хуже.

Более 20 лет прошло с тех пор, как в НИИ онкологии Томского научного центра впервые в России был открыт Медико-биологический центр на базе циклотронной лаборатории НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете для проведения лучевой терапии быстрыми нейтронами онкологическим больным. Становление нейтронной терапии проходило по определенным этапам.

Первый этап – организационный (1980–1985 гг.), включающий создание терапевтического канала быстрых нейтронов средней энергии 6,3 МэВ циклотрона У-120, проведение дозиметрических и радиобиологических исследований и клинической апробации на контингенте онкологических больных, для которых эта энергия быстрых нейтронов была достаточной.

Второй этап (1986–1990 гг.) ознаменовался проведением широкого комплекса физико-дозиметрических и радиобиологических исследований, теоретических разработок, пробных клинических исследований по изучению эффективности нейтронной и смешанной нейтронно-фотонной терапии злокачественных новообразований отдельных локализаций, приобретения собственного опыта лечения быстрыми нейтронами.

На третьем этапе (1991–1999 гг.) проводились исследования по разработке новых способов нейтронной и смешанной терапии, поиск оптимальных режимов фракционирования дозы быстрых нейтронов при комбинированных и самостоятельных методах лучевого лечения, создание комплексной программы по предупреждению и лечению острых лучевых реакций и отдаленных повреждений нормальных тканей и жизненно важных критических органов.

Онкологические больные с опухолями головы и шеи явились первой клинической моделью для изучения эффективности нейтронной терапии на циклотроне, более четырех лет применяется нейтронная терапия в комплексном лечении местнораспространенных форм рака молочной железы, в последние годы разработан метод гамма-нейтронной терапии резистентных форм мелкоклеточного рака легкого. Это дает возможность специалисту увидеть разноплановость применения быстрых нейтронов в комплексе с операцией, с противоопухолевыми препаратами.

Согласно Программе дальнейшего развития Обнинска, одобренной Правительством России, визитной карточкой этого города – первого в нашей стране наукограда – становится ядерная медицина. Это одна из самых передовых и социально значимых отраслей современной науки

и производства. На основе этой Программы ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, ФГУП РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова и МРНЦ РАМН создали совместно два некоммерческих партнерства «Центр ядерной медицины и радиофармацевтики» и «Центр нейтронной терапии».

Инициатива поддержана решением Президиума Российской академии медицинских наук. Предполагается, что со временем оба некоммерческих Центра обеспечат эффективным медицинским лечением жителей не только Калужской области, но и значительной части европейской России. Насколько это важно сегодня, свидетельствует тот факт, что в лечении нейтронами ежегодно нуждаются только в одной нашей стране около 50 тысяч онкологических больных.

Своевременная помощь таким людям, попавшим в беду, – одна из главных государственных и научно-практических задач во всех цивилизованных странах. Ведь чаще, чем от рака, умирают только от сердечно-сосудистых заболеваний. Нейтронная терапия занимает свою особую нишу в лечении опухолей головы и шеи, слюнных желез, костных сарком, рака молочной железы. В некоторых тяжелых случаях этому методу просто нет альтернативы.

Нейтронные пучки для лучевого лечения онкологических больных начали использовать еще 70 лет назад. Но первые такие попытки были быстро приостановлены из-за тяжелых лучевых повреждений нормальных тканей. Сегодня таких негативных последствий удастся избежать. Свою лепту в решение этой проблемы внесли ученые Центра, доказавшие преимущества использования смешанного гамма-нейтронного излучения по сравнению с «чистым» нейтронным воздействием. Врачи по их рекомендациям применяют точно выверенные комбинации смешанных излучений – в определенном соотношении по поглощенной дозе.

Как правило, вклад нейтронов при смешанной гамма-нейтронной терапии в суммарную очаговую дозу не превышает 20...30 %. При таких условиях кожа и здоровые ткани повреждаются не более, чем при одном только фотонном воздействии, а противоопухолевая эффективность возрастает на 15...40 %. Это позволяет более надежно излечивать и первичный очаг злокачественных новообразований, и их метастазы. Кроме того, в ряде случаев после предварительного облучения появляется возможность прооперировать опухоль. В эффективности такого подхода убедились более 500 пациентов, которые пролечились с помощью смешанной гамма-нейтронной терапии на медицинском канале ядерного реактора БР-10 ГНЦ РФ – ФЭИ. Многие из них преодолели порог 5-летней выживаемости.

Обновление радиационного оборудования для лечебных целей.

В ближайшее время необходимо соорудить высоко-технологический медицинский комплекс на реакторе ВВЭР обнинского ФГУП РФ –

НИФХИ им. Л.Я. Карпова. Он заменит медицинский блок, исчерпавший свои ресурсы, который функционировал на базе реактора БР-10. Физики продолжают сотрудничать с медиками, помогая сейчас в создании терапевтических нейтронных пучков для дистанционной и нейтронно-захватной терапии на ускорителе КГ-2,5. Каналы для лечения онкологических больных закладываются также на новых проектируемых установках, например «Рута», и жидкотопливных атомных реакторах.

В МРНЦ РАМН проходит предклинические испытания импульсный нейтронный генератор (серия ИНГ-031), созданный в Московском ВНИИ автоматики на конверсионной основе. Диаметр этого генератора всего 15 см, а длина меньше метра. Прототипом его послужило миниатюрное устройство, применяемое ранее при испытании ядерных зарядов. Онкологи надеются, что московская новинка поможет им добиться более строгой избирательности в радиационном воздействии на опухоль.

Среди закрытых источников излучений, применяемых в ядерной медицине, особенно хорошо зарекомендовал себя калифорний-252. Он показал свою высокую эффективность при терапии первичных и рецидивных злокачественных опухолей слизистой оболочки дна полости рта, языка, щеки, красной каймы губ, кожи и мягких тканей. Лечебное воздействие этого радионуклида в ряде случаев превосходит хирургический и другие методы лечения онкологических заболеваний.

В настоящее время доклинические испытания проходят микроисточники на основе йода-125. Они предназначены для внутритканевой радиотерапии больных раком предстательной железы. Радиоактивный изотоп йода вводится в опухоль внутри герметичных микрокапсул, которые после полного распада радионуклида остаются в предстательной железе, не создавая неудобств пациенту и не оказывая отрицательного влияния на его организм в целом. Такая современная радиационная технология может сочетаться с уже апробированными методами не только для лечения рака предстательной железы. Она пригодна и для терапии опухолей других локализаций: легкого, поджелудочной железы, влагалища, тела и шейки матки, опухолей головного мозга.

В Обнинске разрабатывается также новый тип радиоактивных микроисточников с ограниченным «пробегом» излучения в ткани на основе палладия-103. Этот тип микроисточников, по сравнению с аналогичными на основе йода-125, создает меньшую лучевую нагрузку на пациента и медицинский персонал. Снижение такой нагрузки очень важно, поскольку радионуклидные методы диагностики и терапии все шире используются, помимо онкологии, в кардиологии, неврологии, пульмонологии, нефрологии, гастроэнтерологии и гематологии.

К сожалению, по обеспеченности населения услугами радионуклидной терапии Россия отстает от развитых стран. Так, например, в ФРГ на одну специализированную койку приходится 153 тыс. жителей, в России же этот показатель равен 6,7 млн человек на одну койку. Лучше, чем у нас, положение даже в Португалии: 4,2 млн жителей на одну койку.

Ежегодно в радионуклидном лечении нуждаются примерно 50 тыс. россиян, в том числе около 4 000 больных раком щитовидной железы, 2 500 – с тиреотоксикозом, 14 000 – с иными онкологическими заболеваниями, 7 000 – с заболеваниями опорно-двигательной системы. Фактически же эта помощь оказывается только 2 000 больных ежегодно.

Основная нагрузка по лечебному применению РФП в нашей стране ложится на клинику МРНЦ РАМН. За последние 10 лет в Обнинске пролечено, например, более шести тысяч больных раком щитовидной железы. Дальнейший прогресс в радионуклидной терапии сегодня связывают с появлением генераторов рения-188, актиния-225, висмута-213 и реагентов к ним, приготовленных на основе моноканальных антител, пептидов гликопротеинов, олигонуклеотидов.

### ***Радиоактивный йод лечит мужчин***

В Обнинске, на базе Медицинского радиологического научного центра РАМН, создан Центр брахитерапии рака предстательной железы. Это одно из самых распространенных онкологических заболеваний у мужчин старше 50 лет, а по темпам прироста оно опережает все другие локализации.

К сожалению, в России его удается выявить на ранних стадиях лишь в 14...15 % от всех случаев рака предстательной железы. Только определение опухолевого маркера (простатического специфического антигена, ПСА) может помочь обнаружить его своевременно. Но и тогда пациенту предстоит перенести или сложную операцию со значительной кровопотерей, или дистанционную лучевую терапию с возможным поражением окружающих опухоль здоровых органов и тканей. В обоих случаях требуются большие сроки госпитализации и есть риск развития импотенции и недержания мочи.

Перелом в лечении этого заболевания внесла брахитерапия. Она представляет собой разновидность радиотерапии, когда микроисточники излучения на основе йода-125 вводятся непосредственно в опухоль через специальные иглы. Обычно их бывает 60...90 в зависимости от объема предстательной железы. Уролог заранее определяет этот объем и размер опухоли. Исходя из его расчетов медицинский физик устанавливает, сколько необходимо микроисточников и где их лучше расположить в пораженном органе, чтобы добиться его равномерного облучения.

Процедура имплантации проводится в операционной под общим наркозом и длится чуть более часа. Она хорошо переносится даже пожилыми людьми с тяжелыми сопутствующими заболеваниями, проходит практически без осложнений и дает высокий процент выздоровлений и в случаях, когда процесс уже сильно распространен. Это особенно важно при рецидивном раке предстательной железы.

После удаления игл микроисточники остаются в пораженном органе, обеспечивая нужный уровень радиоактивного излучения в течение нескольких недель или месяцев. Йод-125 имеет период полураспада 60 дней, обычно рекомендованная минимальная доза не превышает 140...160 Гр. При этой процедуре концентрация облучения внутри опухоли в 2...3 раза выше, чем при дистанционной лучевой терапии, использующей более низкие дозы из-за опасения повредить здоровые ткани.

Микроисточник герметичен, поэтому безопасен и для пациента, и для медицинского персонала. Нет необходимости и в специальном обустройстве палат, канализации и других повышенных мерах радиационной безопасности. Пациент может выписаться из клиники на следующий день после имплантации и вскоре приступить к своей привычной деятельности.

Американский профессор П. Кутревелис, возглавляющий Институт урорадиологии в Вашингтоне, разработал и запатентовал технологию брахитерапии под контролем компьютерной томографии. Эта уникальная технология применяется в шести клиниках мира. Первым в нашей стране эффективным новшеством заинтересовался директор Медицинского радиологического научного центра РАМН академик А.Ф. Цыб. Более пяти лет назад, будучи в командировке в США, он познакомился с профессором П. Кутревелисом и пригласил его в Обнинск. С этого приглашения и началось сотрудничество российских и американских урологов, которое привело к созданию Центра брахитерапии рака предстательной железы в первом наукограде России.

Вначале врачи клиники МРНЦ РАМН освоили операции по новой технологии под контролем ультразвука. Для этого они прошли подготовку в Берлине, где находится самый крупный в Европе Центр брахитерапии, под руководством профессора А. Хенкеля и Ф. Хакмана. Прошлой весной немецкие специалисты провели в Обнинске показательные операции по имплантации микроисточников, во время которых им ассистировали их молодые российские коллеги. Они получили от своих маститых учителей право самостоятельно осуществлять эту высокотехнологичную процедуру и уже успешно прооперировали более 20 пациентов.

Но брахитерапия под ультразвуковым контролем имеет ряд противопоказаний: большие размеры предстательной железы, конкременты в ней, распространение злокачественного процесса на семенные пу-

зырьки и т. д. Такие ограничения устраняются, когда операция проводится под контролем спиральной компьютерной томографии. Это уникальное дорогостоящее оборудование недавно стало применяться и в Обнинске. С января оно будет регулярно задействовано в клинике МРНЦ РАМН при внедрении российским пациентам радиоактивных микроисточников в опухоль простаты.

Именной сертификат, дающий право делать такие операции, руководитель Обнинского международного центра брахитерапии рака предстательной железы П. Свиридов получил из рук профессора П. Кутревелиса. Они провели совместно шесть операций в Вашингтоне, Афинах и Обнинске.

По мнению П. Свиридова, теперь в нашей стране у мужчин, страдающих злокачественным заболеванием простаты, появилось больше шансов на выздоровление. Ведь брахитерапия под контролем компьютерного томографа позволяет, кроме всего прочего, проводить биопсию семенных пузырьков. Это очень важно для правильной постановки диагноза и точного определения распространенности рака предстательной железы, без чего невозможно его успешное лечение.

В настоящее время в Обнинске создается производство отечественных микроисточников для брахитерапии. Эта работа ведется с участием ведущих научных Центров города в рамках Программы его развития как наукограда.

В НИИ физики и химии имени Карпова начато серийное производство таблеток, излечивающих онкологические заболевания. Таблетки помещают в ядерный реактор, облучают и дают «остыть» несколько дней. Облученное вещество, концентрируясь в опухоли и метастазах, разрушает их изнутри. За весь курс лечения организм получает дозу, которая в несколько раз слабее, чем при одном рентгенологическом обследовании. Медики считают, что за этим лекарством огромное будущее. Рак – только одна из болезней, которая будет лечиться этими таблетками.

Уникальная операция проведена итальянскими хирургами и физиками впервые в мире. Печень пожилого мужчины, в которой обнаружили 14 злокачественных опухолей, лечили вне тела пациента. Дело в том, что такие новообразования не поддаются традиционным способам онкотерапии.

Суть нового метода в следующем. В пораженный орган вводят атомы бора. Их очень интенсивно поглощают раковые клетки, так как растут быстрее нормальных. Затем орган облучают пучком нейтронов, которые расщепляют бор на элементарные частицы. А вот уже они убивают раковые клетки. Красиво, но реализовать крайне сложно. Во-первых, количество нейтронов должно быть одинаковым для всего органа, а этого добиться непросто. Во-вторых, высокую дозу радиации получают окружающие орган ткани.

Поэтому итальянские хирурги пошли на беспрецедентный шаг – «изъяли» печень и облучили ее в ядерном реакторе. А затем вернули на место, как при обычной трансплантации. С момента операции, длившейся 21 ч, прошел год. Печень работает нормально, обследование не зафиксировало никаких признаков опухолей. Новый метод можно будет применять для лечения органов, которые в принципе поддаются пересадке, например легких или поджелудочной железы.

### **8.2.2. Радионуклидная диагностика**

Радионуклидная диагностика – это диагностика заболеваний и функционального состояния организма человека с использованием радионуклидов или меченных ими химических соединений.

Допущенные к клиническому применению радионуклиды и меченые соединения называют радиофармацевтическими препаратами (РФП). В качестве РФП используют такие радионуклиды и соединения, поведение которых в организме отражает состояние его органов и функциональных систем. В РФП используют ничтожно малые в весовом отношении количества радионуклидов, которые получили наименование индикаторных количеств и не нарушают нормального течения физиологических и биохимических процессов в организме человека.

Чаще всего используют внутривенное введение РФП. При этом препарат первоначально равномерно распределяется с кровью по всему организму, а затем начинает концентрироваться в отдельных (критических) органах.

Методы радионуклидной диагностики в зависимости от целей исследования пациента осуществляются с помощью различных приборных комплексов. Так, при радиометрии определяют радиоактивность части тела (органа), находящейся в поле зрения детектора радиодиагностического прибора. Это позволяет установить количество радионуклида, заключенного в исследуемом участке.

С помощью радиографии изучают динамику радиоактивности в части тела (органе) и таким образом судят о сроках накопления и выведения радионуклида. С помощью таких исследований судят, например, о движении крови по камерам сердца и по сосудам, о некоторых функциях печени, легких и почек.

Гамма-топография дает возможность изучить распределение радионуклида в органе. По полученным изображениям можно судить о локализации, величине и положении органа и распределении в нем здоровой функционирующей части (паренхимы) органа. Голограммы дают возможность обнаружить патологические очаги в органе и тем самым определить его функциональное состояние.



Разработаны радионуклидные методы исследования, при которых радиоактивный изотоп не вводится в организм человека. В этом случае исследуется взаимодействие РФП с составными частями биологических сред организма. Использование этих методик позволяет определить и количественно оценить гормональный профиль больного, а также исследовать ряд биохимических показателей.

Для клинических исследований можно применять только радиоактивные препараты, использование которых разрешено Фармакологическим комитетом здравоохранения РФ. Производится тщательный отбор из большого числа вновь создаваемых РФП. Так, из более чем 1 500 искусственно получаемых радионуклидов в клиническую практику вошло сравнительно немного: около 60 радионуклидов и около 100 меченых соединений.

Для обеспечения безопасности пациента при использовании радионуклидов, к ним предъявляются специальные требования. Во-первых, необходимо, чтобы РФП, включаясь в обмен веществ или переносясь с током жидкости организма, отражал какую-нибудь функцию организма или отдельного органа. Другими словами, использование радионуклида должно быть физиологически обоснованно. Во-вторых, РФП должен создавать в организме обследуемого минимально возможную лучевую нагрузку. Наиболее приемлемы РФП, которые имеют период полураспада от 6...24 часов до 10...30 дней. За этот срок при вводимых активностях изотопа не происходит значительного облучения тканей, и вместе с тем можно изучить физиологические функции организма. Естественно, что вводимые внутрь препараты не должны содержать радиоактивных веществ, которые в процессе распада образуют долгоживущие дочерние продукты.

Наибольшее применения получили гамма-излучающие нуклиды. Гамма-излучение частично поглощается в тканях, а частично проникает наружу и может быть зарегистрировано с помощью специальных приборов.

Широкое распространение в радионуклидной диагностике получили радионуклиды: технеций-99 (распознавание опухолей головного мозга, изучение центральной и периферической гемодинамики, исследование щитовидной железы, костной системы и др.); йод-131 и его соединения (исследование йодного обмена, функции печени, почек); хром-51 – в гематологии; натрий-24, калий-42, рубидий-86, бром-82 – для изучения водносолевого обмена; коллоидные растворы технеция-99, золота-198, йода-131, индия-111 и др. (исследование печени, легких, головного мозга); газообразный радионуклид ксенон-133 (исследование функции легких, центральной и периферической гемодинамики, уровня блокады субарахноидального пространства спинного мозга); соединения, меченные селеном-75 и технецием-99, – в онкологии, натрий-24 – при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний и т. д.

Для повышения эффективности радионуклидных исследований постоянно совершенствуется техническая аппаратура. Для целей диагностики с помощью радионуклидов и ионизирующего излучения используются такие приборы и установки, как сканеры, гамма-камеры, радионуклидные (эмиссионные) и рентгеновские томографы.

Сканеры обеспечивают визуализацию распределения в организме РФП. Для этого детектор прибора построчно обходит исследуемую часть тела с заранее установленной скоростью.

В отличие от сканеров, гамма-камеры позволяют одновременно получить информацию о распределении РФП в органе.

Если гамма-голограмма представляет собой плоскостное изображение, то с помощью рентгеновского компьютерного томографа можно получить расположение анатомической структуры тела человека в трехмерном пространстве.

Томографическая техника может быть применена и при радионуклидной диагностике. Она несколько хуже по разрешающей способности по сравнению с рентгеновским компьютерным томографом, но зато обладает важной способностью улавливать распределение РФП в разных частях исследуемого органа. Разработаны два типа радионуклидной томографии: однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОЭТ) и позитронная эмиссионная компьютерная томография (ПЭТ). ПЭТ – это метод исследования функционального состояния тканей человека с помощью радионуклидов, испускающих позитроны. В ПЭТ применяются две группы радионуклидов:

1. Ультракороткоживущие (кислород-15, азот-13, углерод-11, фтор-18). Достоинство этих РФП заключается в том, что они представляют собой фундаментальные компоненты биологических соединений. Из-за короткого времени жизни их можно применять только в месте получения – на медицинских циклотронах.
2. Короткоживущие. В большинстве своем это соединения, меченные галлием-68.

ПЭТ – уникальный способ радионуклидного исследования, поскольку он позволяет получить очень точные сведения о локализации РФП в организме.

Радионуклидные исследования в последние годы получили столь широкое распространение и развитие, что их справедливо относят к ведущим методам инструментальной клинической диагностики. Метод радиоизотопов в медицине позволяет решать самые неожиданные задачи и отвечать на самые невероятные вопросы.

Например, при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний очень важно знать общее количество крови в организме, скорость кро-

вотока и объем кровотока в единицу времени. Важно потому, что эти параметры являются чувствительными индикаторами заболевания. Эти задачи успешно решаются с помощью применения радиоактивных изотопов (например, натрия-24). Для этого в кровоток человека вводится физиологический раствор, содержащий необходимую концентрацию изотопа. Так как гамма-излучение натрия-24 можно регистрировать с помощью гамма-счетчика, появляется возможность следить за движением потока крови в теле человека. В результате можно определить время полного кругооборота крови, объем кровотока в единицу времени и вычислить полный объем крови в организме человека.

Большая серия исследований по диагностике различных заболеваний радиоизотопным методом основана на замечательной особенности организма концентрировать в своих тканях некоторые химические вещества. Известно, например, что щитовидная железа выделяет из организма и накапливает в своей ткани йод, костная ткань – фосфор, кальций и стронций, а печень – некоторые красители и т. д. При этом если орган работает нормально, то процесс накопления характеризуется определенной скоростью и количеством накопленного вещества; при нарушении же функции органа наблюдается отклонение от этого режима. Например, при базедовой болезни активность щитовидной железы резко возрастает, и это сопровождается как ускорением, так и увеличением количества накапливаемого йода. Если же функция слабее нормы – это сопровождается замедлением процесса накопления йода и уменьшением его количества в щитовидной железе. За всеми этими особенностями накопления йода удобно следить с помощью его гамма-радиоактивного изотопа. Если ввести в организм радиоактивный йод-131, то он уже через несколько минут начнет накапливаться в щитовидной железе. Регистрируя счетчиком гамма-излучение изотопа, можно определить функциональное состояние щитовидной железы.

Тот же радиоактивный йод применяется для исследования функции печени, если им пометить специальный органический краситель. За всеми особенностями работы печени опять-таки можно проследить с помощью гамма-счетчика, расположенного над поверхностью печени.

Радиоактивные изотопы йод-131, фосфор-32, золото-198 и др. используют для выявления злокачественных опухолей в различных органах.

Радиоактивный фосфор используют в диагностике опухолей, расположенных вблизи от поверхности тела, так как испускаемые им бета-частицы имеют средний пробег в ткани 3 мм.

Йод-131 и золото-198 испускают гамма-лучи, легко пронизывающие ткани человеческого тела, поэтому они используются в диагностике опухолей внутренних органов. Диагностика злокачественных опухо-

лей основана на том, что клетки опухоли иначе накапливают радиоактивный препарат, по сравнению с клетками здоровой ткани.

Метод меченых атомов, который, по сути дела, является основой радионуклидной диагностики, применяется и для решения некоторых других задач медицинского характера. Так, метод внес существенный вклад в борьбу с отравлениями. Он позволяет проследить пути ядовитого вещества в организме, особенности его вредного действия и способы выведения его из организма. В результате таких исследований были найдены эффективные и быстрые способы выведения различных токсических веществ из организма.

Для терапии рака печени в последнее время с успехом применяют препарат, который представляет собой микросферы диаметром до 35 микрон и готовится на основе  $^{90}\text{Y}$  ( $T^{1/2} \sim 64$  ч), являющегося чистым бета-излучателем. Пациенту вводится 3 ГБк этого препарата, через 14 суток его активность снижается до 2,5 % первоначальной. Средний пробег бета-частиц в ткани составляет 2,4 мм.

В Австралии к радиотерапии с применением радионуклидов вынуждены обращаться до 150 пациентов каждую неделю. Четыре радионуклида –  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  и  $^{131}\text{I}$  – обеспечивают более 95 % всех ядерных процедур.

В настоящее время ведутся исследования по получению новых РФП для лечения и диагностики онкологических заболеваний, болезней сердца, болезней Альцгеймера и Паркинсона, шизофрении. Множество новых РФП для диагностических и терапевтических целей проходят клинические испытания. Ядерная медицина Австралии оказывает одну из самых давних и наиболее надежных услуг в мире, и это безусловно связано с собственным производством медицинских радионуклидов, начавшимся в Лукас Хайтсе в 1960 г. Широко распространенное сегодня клиническое использование почти 100 различных РФП обеспечивает уникальную информацию относительно каждой жизненно важной системы или органа пациента. В настоящее время во всем мире работают 150...200 циклотронов. Около 35 из них используются радиофармацевтическими компаниями исключительно для производства медицинских радионуклидов, еще 25 для этих же целей – частично. Если в конце 80-х гг. шутили, что медицинских циклотронов нет только на двух континентах – в Антарктиде и Австралии, то в начале 90-х гг. в Австралии были построены уже два медицинских циклотрона. Один из них (NMG) был установлен в Королевском госпитале принца Альфреда (КРАН) в Сиднее и начал работать в 1992 г. Этот циклотрон, ускоряющий протоны до 30 МэВ, был закуплен в Бельгии. Затраты на создание центра по производству радионуклидов составили 20 млн долл. NMC работает 100 ч в неделю и 90 % времени

производит долгоживущие радионуклиды ( $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{18}\text{F}$ ) для коммерческих поставок внутри страны и за рубеж; 10 % времени идет на производство радионуклидов  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  и  $^{15}\text{O}$  для центрапозитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) госпиталя КРАН. Это позволило почти сразу удовлетворить высокую долю внутреннего спроса на  $^{67}\text{Ga}$  и полностью обеспечить потребность в  $^{201}\text{Tl}$  на рынке Австралии, хотя некоторые количества Tl все еще поставляют зарубежные радиофармацевтические компании. В стадии разработки находится производство  $^{111}\text{In}$ . Ведется создание полностью автоматизированного способа получения  $^{64}\text{Cu}$  для ПЭТ. Число ежегодных исследований с применением ПЭТ в КРАН превышает 1 200. Объем продажи циклотронных радионуклидов устойчиво расширяется, и еще в 1995 г. составил более чем 2,7 млн долл., что было на 14 % больше, чем в течение предыдущего года.

Каждый год в Австралии, где население составляет около 19 млн чел., выполняют приблизительно 430 тыс. ядерно-медицинских процедур с применением радионуклидов, и число таких процедур быстро увеличивается. ANSTO в настоящее время ежегодно производит около 350 тыс. доз реакторных РФП для диагностических и терапевтических целей. По оценке, ежегодная экономическая выгода от их применения достигает 8...10 млн долл., и, как ожидается, увеличится к 2005–2006 гг. до 27...32 млн долл. Эти цифры не включают экономическую выгоду, являющуюся результатом спасенных жизней, усовершенствования качества жизни и минимизации пребывания в больнице.

По данным ANSTO, потребление радионуклидов в ядерной медицине Австралии возрастает, как и в США, на 14 % ежегодно. Ожидают, что в 2007 г. число проведенных с их применением процедур будет составлять уже 1,5 млн. Ожидают также, что региональный рынок для радионуклидов через десять лет составит 150 млн долл. Это свидетельствует о том, что применение ядерной медицины расширяется и большинство австралийцев будут использовать РФП для ранней диагностики заболеваний или лечения различных болезней.

В системе здравоохранения США радионуклиды используют как обязательный компонент при диагностике (до 40 тыс. процедур ежедневно, или около 13 млн/год), лабораторных тестах (100 млн тестов/год) и терапии (50 тыс. терапевтических доз/год) многих заболеваний человека. За последние 20 лет потребление радионуклидов для этих целей резко выросло. Приблизительно третья часть всех обратившихся за помощью пациентов в США получают процедуры, в которых используются РФП. Их проводят в каждом штате более чем в 4...5 тыс. различных лечебных учреждений США, в области ядерной медицины практикуют более 10 тыс. специалистов. Это приводит к снижению затрат

на здравоохранение, сокращает сроки оказания помощи и пребывания в госпиталях, а также улучшает уровень обслуживания пациентов. Сегодня ядерная медицина США – это индустрия с годовым оборотом 7...10 млрд долл. Только от продажи радионуклидов для приготовления РФП выручают более 100 млн долл. ежегодно. Подавляющее большинство диагностических процедур проводят при щадящей дозе облучения, для чего используют короткоживущие радионуклиды –  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ ,  $^{18}\text{F}$  и др. Федеральная администрация по продуктам и медикаментам (1U.S. Food and Drug Administration – FDA) официально разрешила к использованию в медицине 13 реакторных и 11 циклотронных радионуклидов. На их основе создано 17 групп РФП, содержащих 51 различное соединение, каждое из которых имеет специфичное диагностическое применение. Существует и разрешено к применению 117 РФП, из которых 65 % составляют препараты, меченные  $^{99m}\text{Tc}$ . Приблизительно 90...95 % радионуклидов (по активности) производят за границами США. Основные производители расположены в Канаде, Голландии, Бельгии, Франции, ЮАР и Японии.

В США радионуклиды производят 15 организаций, среди которых пять Национальных лабораторий: Брукхейвенская, Лос-Аламосская, Ок-Риджская, Тихоокеанская и Сандийская. Некоторые из них осуществляют производство уже более 50 лет. Всего в США для нужд науки, техники и здравоохранения производится 138 радионуклидов.

Ключевым радионуклидом в ядерной медицине США является  $^{99m}\text{Tc}$ , образующийся при радиоактивном распаде материнского  $\text{Mo}$ , который выделяют из облученного тепловыми нейтронами  $^{235}\text{U}$ .  $^{99m}\text{Tc}$  получают непосредственно в клиниках с помощью генератора  $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}\text{Tc}$  и применяют в более чем 80 % радионуклидных процедур, проводимых ежедневно в системе здравоохранения США (во всем мире ежедневно осуществляют до 60 тыс. таких процедур). Ежедневная потребность ядерной медицины США в  $^{99}\text{Mo}$  – 3 кКи (707,2 кКи в год). До настоящего времени в США отсутствует собственное производство этого радионуклида, что вызывает определенную озабоченность. Практически весь  $^{99}\text{Mo}$  поставляет фирма MDS Nordion. Первые строки в списке радионуклидов, получаемых с помощью ускорителей (как правило, циклотронов), занимают  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{81}\text{Rb}$  и  $^{111}\text{In}$ . Поскольку  $^{201}\text{Tl}$  используют в 13 % всех диагностических процедур, он занимает второе место после  $^{99m}\text{Tc}$ . В 1996 г. выручка от продажи  $^{123}\text{I}$  и  $^{111}\text{In}$  в США составила около 531 тыс. долл. за каждый радионуклид. Производством радионуклидов для медицины только в США заняты 24 циклотрона.

Появившаяся возможность метить биологические вещества позитрон-излучающими радионуклидами открыла новое поле деятельности

в области ядерной медицины. Позитрон-эмиссионная томография (ПЭТ) обеспечивает количественную, локализационную, функциональную и биохимическую информацию, которую трудно или даже невозможно получить другими средствами. Позитрон-излучающие нуклиды, такие как  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  (с  $T'_{1/2} = 20, 4; 10$  мин и 2 мин, соответственно), представляют собой радиоактивные изотопы элементов, входящих в состав тканей организма человека. Их производят непосредственно в медицинских Центрах с использованием малогабаритных циклотронов. Наиболее часто из позитрон-излучающих радионуклидов используют  $^{18}\text{F}$ ,  $^{68}\text{Ga}$  и  $^{82}\text{Rb}$  (с  $T_{1/2} = 110; 68; 1,25$  мин, соответственно). Препарат фтордезоксиглюкозы для диагностики онкологических заболеваний, содержащий  $^{18}\text{F}$  ( $^{18}\text{F}$  FDG), назван препаратом века. Число ежегодно проводимых в США тестов с его использованием постоянно растет и составляет уже почти 90 % всех ПЭТ-процедур.  $^{82}\text{Rb}$ , который используют для диагностики сердечной деятельности, получают с помощью радионуклидного генератора  $^{82}\text{Sr} - ^{82}\text{Rb}$ , где он образуется вследствие радиоактивного распада материнского  $^{82}\text{Rb}$  ( $T_{1/2} = 25,4$  сут). Стоимость такого генератора при активности 0,1 Ки составляет 25 тыс. долл., он рассчитан на обслуживание 85...90 пациентов при стоимости одной процедуры 1 850 долл. Существенно, что до 80 % стоимости процедуры пациенты покрывают за счет страхового полиса. Для этих целей  $^{82}\text{Rb}$  производится в пяти лабораториях, три из которых расположены за пределами США. Приблизительно четвертую часть всего количества  $^{82}\text{Rb}$ , поступающего в США для производства  $^{82}\text{Rb}$ , получают из Института ядерных исследований (г. Троицк, Россия). Производством радионуклидов для ПЭТ в США заняты 56 специализированных малогабаритных циклотронов. За последние несколько лет вырос спрос на такие радионуклиды для терапии, как  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{103}\text{Pa}$ ,  $^{90}\text{Y}$ . Например, поступления от продажи  $^{90}\text{Y}$  ( $T_{1/2} = 64,2$  ч) выросли со 100 тыс. долл. в 1996 г. до 1,4 млн долл. в 1998 г. Более чем 10-летний клинический опыт применения этого радионуклида показал, что с его использованием уничтожение раковых клеток происходит более эффективно и обходится пациенту в США в 2...10 раз дешевле (зависит от количества процедур и длительности лечения), чем при традиционном курсе химиотерапии в сочетании с внешним гамма-облучением, что обычно занимает несколько недель при стоимости такого курса, включая пребывание пациента в стационаре, от 20 до 200 тыс. долл. (3 тыс. долл. за сутки). Терапия же с применением РФП на основе  $^{90}\text{Y}$  сводится к 1...3 инъекциям из расчета 0,5 мКи/кг веса пациента и стоит 10...20 тыс. долл. По данным Национального института рака, в США ежегодно регистрируют до 1,2...1,3 млн человек с новооб-

разованиями, и общая сумма, затрачиваемая ежегодно на обычный курс терапии, возросла с 1985 г. на 45 % и составила в 1990 г. 104 млрд долл. Экономия в случае использования для этих целей  $^{90}\text{Y}$  составила бы десятки млрд долл. Ежедневное производство  $^{90}\text{Y}$  организовано Министерством энергетики США (DOE) с 1991 г. в PNNL, где в 1996 г. был запатентован процесс получения  $^{90}\text{Y}$  из отработавшего ядерного топлива, содержащего материнский  $^{90}\text{Sr}$ . Использование  $^{90}\text{Y}$  в терапии заболеваний эффективнее, чем внешнее гамма-облучение, так как он обеспечивает локализацию и требуемую дозу облучения опухоли за счет высокой энергии его излучения. Кроме того, при этом наблюдаются минимальные побочные эффекты.  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  и  $^{153}\text{Sm}$  в настоящее время широко применяют также для снятия болевого синдрома у онкологических больных с метастазами в костях, что позволяет исключить традиционно используемые для этих целей наркотики.

В США ежегодно производят до 400 тыс. операций ангиопластики, но примерно 30 % пациентов из-за рестеноза требуется дополнительное операционное вмешательство стоимостью 20 тыс. долл. Как показали исследования, проводимые в ORNL, обработка коронарных артерий излучением  $^{188}\text{Re}$  после операции ангиопластики существенно сокращает число случаев сужения артерий. Для этих целей  $^{188}\text{Re}$  получают с помощью генератора  $^{188}\text{W} - ^{188}\text{Re}$ , разработанного в ORNL. В 2000 г. поступления от продажи таких генераторов при суммарной активности 51,53 Ки составили 311 тыс. долл. Сейчас исследуют возможность применения для этих же целей  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Y}$  и  $^{192}\text{Ir}$ .

В рамках проводимой в США конверсии на бывшем заводе K-25 по обогащению  $^{235}\text{U}$  в Ок-Ридже DOE планировал совместно с фармацевтической компанией Theragenics уже в 2000 г. построить установку по производству РФП Theraseed, содержащего  $^{103}\text{Pd}$  ( $T_{1/2} = 17$  сут) и используемого для терапии рака простаты. Стоимость проекта составила 25 млн долл.  $^{103}\text{Pd}$  предполагают получать с помощью высокопоточного реактора HFIR мощностью 85 МВт (ORNL), который 43 недели в году производит широкую гамму радионуклидов, в числе которых  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  и др. Потребность в  $^{103}\text{Pd}$  оценивают в 15 тыс. кКи/год, ежегодное число пациентов – 150 тыс. Предполагают, что общий годовой доход от продажи этого РФП составит 140 млн долл. По данным Национального института рака, в США зарегистрировано 984 тыс. человек с диагнозом рак простаты. В 1998 г. у 184 500 человек это заболевание было диагностировано впервые, в этом же году оно явилось причиной смерти 39 200 граждан США. Курс обычного лечения рака простаты обходится пациенту в 29 тыс. долл., и побочные эффекты, включая импотенцию, возникают в 50 % случаев. Терапия этого заболевания с применением однократной



дозы 100 мКи  $^{103}\text{Pd}$  обходится пациенту в среднем 15 тыс. долл., побочные эффекты составляют менее 5 %. Эта же фармацевтическая компания имеет в своем распоряжении 8 циклотронов типа Cyclone 18, с использованием которых возможно крупномасштабное производство  $^{103}\text{Pd}$  на мишенях из металлического родия.

В августе 2001 г. между DOE и Калифорнийским университетом в г. Дэвис подписано соглашение, по которому DOE в рамках конверсии предоставляет в распоряжение университета современной 2-мегаваттный ядерный реактор, оснащенный новейшими робототехническими устройствами, который в 1990 г. был построен для нужд ВВС США, и технологию производства радионуклида  $^{125}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 60$  сут), включая поставку необходимого для его производства обогащенного сырья из ORNL. По этому соглашению Калифорнийский университет становится главным коммерческим производителем  $^{125}\text{I}$  в США. На его основе будут получать еще один РФП для терапии рака простаты. Этот препарат изготавливают в виде графитовых зерен в оболочке диаметром 0,7 мм, которые с помощью тонкой полый иглы вводят пациенту непосредственно в опухоль на срок до нескольких месяцев. Тем самым к опухоли подводится высокая локальная доза облучения, в результате чего и достигается необходимый терапевтический эффект, а соседние ткани и органы при этом страдают минимально.

В последнее время растет интерес к  $^{203}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 45,6$  мин), который распадается с испусканием альфа-частиц с энергией 8,4 МэВ. Исследования показали, что его можно с успехом использовать для лечения лейкемии, рака легких и др.

Таблица 8.1

*Некоторые медицинские радионуклиды. Применение*

Радионуклид	Область применения
Фтор-18	ПЭТ, диагностика в онкологии и др.
Фосфор-32	Лечение лейкемии, диагностика и лечение костной системы. ОФЭКТ, терапия рестеноза и рака печени, исследования метаболизма и кинетики клеток
Фосфор-33	Лечение лейкемии, диагностика и лечение костной системы. ОФЭКТ, терапия рестеноза и др.
Скандий-47	Снятие болевого синдрома при метастазировании в кости, радиоиммунотерапия
Медь-64	ОФЭКТ, ПЭТ, дозиметрия, изучение церебрального и миокардиального тока крови, терапия рака
Медь-67	Лечение и диагностика рака, радиоиммунотерапия, ОФЭКТ
Селен-75	Диагностика гепатобилиарной системы, изучение процессов в головном мозге

Радионуклид	Область применения
Стронций-82	Материнский нуклид для $^{82}\text{Rb}$
Рубидий-82	ПЭТ-диагностика в кардиологии
Стронций-89	Терапия рака, паллиативная терапия костных метастазов
Стронций-90	Материнский нуклид для $^{90}\text{Y}$
Иттрий-90	Радиометка различных соединений для терапии в онкологии
Иттрий-91	Терапия рака, радиоиммунотерапия, дозиметрия на клеточном уровне
Молибден-99	Материнский нуклид для $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , используемого для диагностики органов человека
Технеций-99m	Широчайшая область применения в диагностике заболеваний органов и систем человека, ОФЭК, сцинтиграфия
Палладий-103	Лечение рака простаты
Индий-111	Диагностика, сцинтиграфия, радиоиммунотерапия и др.
Стронций-117m	Терапия рака, снятие болевого синдрома при метастазировании в кости
Йод-123	Диагностика заболеваний головного мозга, ОФЭКТ, сцинтиграфия и др.
Йод-125	Различные биомедицинские исследования, радиоиммунный анализ, терапия рака, диагностика, обнаружение тромбоза глубокой вены ног
Йод-131	Диагностика и лучевая терапия, диагностика заболевания и лечение щитовидной железы, терапия рака и многое др.
Ксенон-127	Радиометка для измерения местного мозгового кровотока, диагностика вентиляции и кровотока легкого, ОФЭКТ высокого разрешения и низкой дозы
Ксенон-133	Диагностика вентиляции и регионарного кровотока легкого
Самарий-153	Терапия и диагностика рака, снятие болевого синдрома от костных метастазов
Гольдмий-166	Лечение ревматоидного артрита, радиометка для моноклональных антител
Рений-186	Терапия и диагностика рака, метка моноклональных антител, терапия ревматоидного артрита
Вольфрам-188	Материнский нуклид для получения $^{188}\text{Re}$
Рений-188	Обработка коронарных артерий от рестеноза и др.
Иридий-192	Брахитерапия, терапия опухолей спинного мозга, терапия рестеноза и рака простаты
Осьмий-194	Терапия в онкологии
Золото-198	Терапия рака яичников, простаты, мозга
Талий-201	ОФЭКТ, диагностика в кардиологии
Торий-229	Материнский нуклид для получения $^{213}\text{Bi}$
Висмут-213	Лечение лейкемии
Калифорний-252	Терапия в онкологии

Методы визуализации, применяемые в ядерной медицине, позволяют выявлять заболевания на ранней стадии – буквально на клеточном уровне. Наиболее широко используется в радионуклидной диагностике технеций-99m. На его долю приходится 80 % радионуклидных процедур. Период полураспада этого изотопа – чуть более 6 часов, что позволяет полностью вывести его из организма через 1...2 суток после инъекции. С другой стороны, энергия гамма-квантов технеция-99m оптимальна для их регистрации современными радиодиагностическими приборами. Поэтому с помощью этого радиоизотопа можно метить большинство фармпрепаратов.

У технеция-99m есть еще ряд преимуществ по сравнению с другими радионуклидами. У него, например, отсутствует бета-излучение, что делает его более безопасным для здоровья человека, и относительно низкая цена. Он нарабатывается в отделениях радионуклидной диагностики из генератора молибдена-99, получаемого при делении урана. А проблем с поставками молибдена в нашей атомной отрасли нет. С учетом всего этого в Обнинске стал выпускаться модернизированный генератор 99 мТс, разработанный с участием МРНЦ РАМН.

Специалисты Центра внесли свой вклад также в разработки новых перспективных радиофармпрепаратов (РФП). Среди них – генератор терапевтического назначения на основе Ре-188с с набором реагентов к нему. В настоящее время для лечения больных с метастазами в кости успешно используется новый отечественный препарат самарий-153 – оксабифор. Благодаря ему сотни пациентов получили облегчение и улучшили качество своей жизни.

Офтальмоаппликатор с рутением-106, повторяя очертания глазного яблока, оптимизирует пространственное распределение тканевой дозы радиации. Облучение с его помощью опухолей глаза позволяет в ряде случаев сохранить человеку зрение. А уреакапс на основе углерода-14 высоко оценили врачи, занимающиеся диагностикой патологии желудочно-кишечного тракта. Новинка помогает своевременно обнаружить микроб-хеликобактер. По современным представлениям, он ответственен за возникновение язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки.

### ***Радионуклидные электрокардиостимуляторы***

Эффективным средством лечения сердечной недостаточности является стимуляция сердечного ритма электрическими импульсами. Для этого используются электрокардиостимуляторы (ЭКС), имплантируемые внутрь организма и задающие сокращение сердца с нужной частотой и силой. Один из основных факторов, определяющих надежность и срок службы ЭКС, – это выбор автономного источника питания. Используемые для элек-

тронных схем ЭКС химические батареи не всегда позволяют решить полностью все проблемы. Задача увеличения срока службы и энергоемкости имплантируемых ЭКС привела к созданию ЭКС с радионуклидными термоэлектрическими генераторами на основе  $^{238}\text{Pu}$ . Срок службы ЭКС с таким источником питания около 10 лет. Перспективным нуклидом для использования в источниках питания ЭКС является  $^{242}\text{Sm}$ , имеющий более низкую гамма-активность. Многолетние наблюдения показали отсутствие каких-либо нарушений в работе жизненно важных органов из-за наличия внутри организма капсулы с радиоактивным препаратом.

### *Радиационная стерилизация медицинских инструментов и материалов*

Одним из путей распространения инфекций является их перенос от инфекционного больного к другому человеку из-за плохой стерильности медицинского оборудования и медицинских материалов. Для стерилизации применяются физические и химические методы. Среди обычно используемых методов – нагрев и применение химических соединений, например окиси этилена и формальдегида. Наряду с этими традиционными методами уже более 30 лет применяется метод радиационной стерилизации. Важными преимуществами этого метода являются: возможность стерилизовать материалы после упаковки, производить обработку термочувствительных материалов, экологическая безопасность, высокая гарантия стерильности обработанного изделия. Для облучения используются гамма-источники (обычно  $^{60}\text{Co}$ ) и электронные ускорители. Стерилизации с использованием излучений подвергаются шприцы, медицинские устройства и инструменты, перевязочный материал, неорганические имплантируемые детали, биологические препараты, биологические ткани для пересадки и др. Возможность стерилизации без повышения температуры изделия стимулировала использование новых материалов и технологий для производства медицинских изделий и их упаковок. Для стерилизации медицинских изделий в большинстве стран принята доза около 25 кГр.

### **8.3. Сельское хозяйство**

Метод стерилизации ионизирующим излучением был применен ко многим видам вредителей сельского хозяйства: яблоневая плодожорка, розовый коробочный червь хлопчатника, кукурузный мотылек, муха цеце и множество других сельскохозяйственных вредителей. В настоящее время даже некоторые виды несъедобных рыб и пренеприятных животных рассматриваются как возможные объекты для примене-

ния этого метода, хотя до его широкого внедрения необходимо взвесить все «за» и «против» с точки зрения экологии.

Рассмотрим метод уничтожения мухи цеце. Самка мухи цеце откладывает яйца в открытые раны крупного рогатого скота, даже в ранку от пуповины только что родившихся животных. По мере роста личинки почти всегда умерщвляют своих жертв. До использования радиоактивного метода убыток, причиняемый личинками мух, только на юго-востоке США ежегодно составлял 15...25 млн долл.

Суть метода заключается в следующем. В зараженный вредителями район выпускаются самцы, стерилизованные путем облучения гамма-квантами, испускаемыми радиоизотопом кобальт-60. Доза облучения составляет не менее 2 500 рентген. Стерилизованные самцы не теряют своей привлекательности для самок и в этом не отличаются от самцов, не подвергавшихся облучению. Самки производят потомство только один раз и, спариваясь со стерилизованным самцом, потомства не дают. Поскольку продолжительность жизни одного поколения трупных мух не превышает трех недель, то по мере насыщения района стерилизованными самцами количество трупных мух в течение двух–трех месяцев падает почти до нуля.

В конце 50-х годов после проведенных опытов, продемонстрировавших эффективность метода, в США была создана фабрика по размножению мух. Личинки мух облучались гамма-квантами от кобальта-60, и затем им предоставлялась возможность расти. Во время проведения операции около 50 млн стерилизованных мух (как самок, так и самцов) разбрасывались над территорией зараженных вредителями районов; на протяжении 1958–1959 гг. было рассеяно примерно 2 млрд мух. Вероятность размножения самок и необлученных самцов стала поистине ничтожной. К 1960 году эти мухи, сущий бич крупного рогатого скота, были полностью уничтожены на территории США.

Следует отметить также, что в исследованиях и разработке методов борьбы с вредными насекомыми применяются радиоактивные нуклиды. Методом меченых атомов изучается поведение насекомых, пути их миграции, эффективность паразитов и хищников, уничтожающих вредных насекомых. С помощью нуклидов можно проследить судьбу инсектицидов в организме насекомого или в окружающей среде и тем самым эффективность химических методов борьбы с ними, исследовать источники питания насекомых, а также количество потребляемой пищи, и определить сопротивляемость растений к конкретному виду насекомых-вредителей.

В 2000 г. МАГАТЭ, откликаясь на просьбы многих государств, проводило анализ технической осуществимости применения метода стерилизации насекомых (МСН). Опыты на средиземноморской фруктовой мушке показали, что этот подход пригоден для массового производства самцов.

Сейчас наиболее подходящими объектами ещё являются яблочная плодожорка, розовый коробочный червь хлопчатника, кукурузный мотылек, огневка и множество других сельскохозяйственных вредителей.

### ***Облучение пищевых продуктов***

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно во всем мире отмечается свыше 4 млрд случаев диареи, причем значительное их большинство – в развивающихся странах. Согласно статистическим данным по промышленно развитым странам, до 10 % населения этих стран ежегодно страдают от заболеваний пищевого происхождения.

Согласно данным Центра США по борьбе с болезнями и их профилактике, пищевые отравления в США каждый год являются причиной 5 тыс. случаев смерти, 325 тыс. случаев госпитализации и 76 млн случаев заболевания.

При очень высоких уровнях радиоактивного облучения живой организм погибает. Это явление было применено по отношению к бактериям, грибкам и прочим вредным микроорганизмам, которые являются причиной уничтожения пищевых продуктов. В некоторых районах Земного шара вредители и вредные микроорганизмы портят до 50 % всех запасов продовольствия. Долгие годы такие процессы, как консервирование, замораживание, пастеризация и другие, помогали человеку защитить продукты питания от порчи и уничтожения. Открытие энергии атомного ядра дало нам в руки новое оружие: обработку облучением.

Выяснилось, что облучение весьма полезно при консервировании продуктов. Радиоактивное облучение пищевых продуктов применяется по четырем направлениям:

1. Обработка корнеплодов для предупреждения их прорастания (это относится в первую очередь к картофелю и луку), с этой целью применяются очень низкие дозы облучения.
2. Облучение умеренными дозами таких продуктов, как бананы, плоды папайи, с целью затормозить их созревание.
3. Уничтожение насекомых или дезинфекция в помещениях, где хранятся пшеница, рис, овес, мука, – это достигается низкими или умеренными дозами радиоактивного облучения.
4. Уничтожение в пищевых продуктах всех или некоторых микроорганизмов:

продление срока хранения (так называемая пастеризация облучением) легкопортящихся продуктов (рыбы, домашней птицы, ягод) с помощью умеренных доз облучения.

Проверкой облученных продуктов на их безвредность для питания человека занимались такие «солидные» и компетентные организации,

как Институт питания АМН СССР и Институт гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. В настоящее время установлено, что после облучения соответствующими дозами (они в настоящее время уже точно определены) сроки хранения пищевых продуктов будут увеличены в 3...8 раз. При этом сохраняется высокое качество продуктов.

Так, например, мясные полуфабрикаты из говядины и свинины сохраняются в течение 7...10 дней при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 8 недель при  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Существенно возрастает после облучения срок хранения тушек потрошеной птицы:

при  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 30 дней, при  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 21 день, при  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 11 дней.

Положительные результаты были получены во Всесоюзном научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии.

После облучения сом, карп и сельдь при температуре  $0...5\text{ }^{\circ}\text{C}$  сохраняются свежими до 30 дней, а щука свежая – до 60 дней.

Продолжительность хранения плодов, овощей и ягод может быть увеличена в 2...3 раза.

Получены экспериментальные данные, что ионизирующие излучения наиболее перспективно применять для ускорения созревания коньячного спирта.

При настаивании коньячного спирта на дубовых стружках, предварительно облучённых дозой 20 Мрад, созревание его заканчивается через 10...15 суток. При этом по степени созревания и своему химическому составу такой спирт равноценен спирту, который выдерживался три года обычным методом.

Известно, что картофель при длительном нахождении при температурах ниже  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  приобретает сладкий привкус из-за осахаривания крахмала, а также прорастает.

Опыты по облучению картофеля  $\gamma$ -лучами показали, что облучённые клубни картофеля теряют способность к прорастанию и выдерживают хранение до нового урожая в условиях обычных неохлаждённых хранилищ. Такой картофель безвреден для организма и может употребляться в пищу.

Следует отметить, что после облучения урожайность картофеля повысилась примерно на 15 %, а зерна до 10 %, а в некоторых случаях до 30 %. В опытах с морковью на площади 19 га предпосевное облучение семян привело к повышению не только урожая корнеплодов (примерно на 30 %), но и содержания каротина в них (на 9...12 %), и срок созревания увеличился на 4...5 дней.

Излучения увеличивают скорость естественных мутаций. Так, новый сорт ржи, устойчивый к ржавчине, был выведен за 18 месяцев. При работе обычными методами для этого потребовалось бы до 10 лет.

Интересные результаты получены с помощью излучений в направленном изменении некоторых свойств низших организмов. Известно, что особи мужского типа тутового шелкопряда на 20...30 % шелконоснее и на 10...15 % жизнеспособнее самок. Однако различить пол шелкопряда на стадии яйца – трудная задача.

Путём воздействия на шелкопряда рентгеновскими и  $\gamma$ -лучами в СССР получена линия тутового шелкопряда, которая даёт потомство, меченное по полу.

На стадии яйца самцы белого, а самки чёрного цвета. Это позволило механизировать трудоемкие процессы сортировки шелкопряда и значительно повысить шелконосность коконового сырья.

Большой практический интерес представляет разрабатываемый в настоящее время метод направленного получения у рыб особей женского пола.

Если спермии рыб (осетра, севрюги, стерляди и др.) предварительно подвергнуть облучению, то из икринок развиваются преимущественно самки.

Увеличение числа самок приведет к увеличению продукции такого ценного пищевого продукта, как икра.

Из сельскохозяйственных животных наибольшее количество производственных испытаний стимулирующего эффекта малых доз – на курах. Исследования проведены в различных вариантах: облучение яиц до и после инкубации, облучение цыплят, несушек, многократное, разовое воздействие и другие варианты. В результате было четко зафиксировано положительное влияние малых доз.

Стимулирующий эффект на развитие суточных цыплят оказывает также однократное облучение их малыми дозами (25 Р). У них отмечался более быстрый рост и раннее половое созревание. У кур повышалась яичная продуктивность.

Цитологические и биохимические исследования крови и костного мозга кур в течение двух лет не выявили никаких патологических сдвигов. Более того, при исследовании реакции организма на введение вакцины БЦЖ и контрольное заражение возбудителем туберкулеза выявлено повышение иммунобиологической реактивности птиц.

Стимулирующее действие малых доз установлено и на млекопитающих – мышах, свиньях, норках. Отечественные и зарубежные авторы подобных исследований отмечают раннее созревание и увеличение массы тела у животных во взрослом состоянии, повышение иммунобиологической реактивности и другие положительные сдвиги.

В сельском хозяйстве (растениеводстве и животноводстве) широко применяется радиоиндикационный метод – метод меченых атомов. Введенные в организм животного или в растение радионуклиды ведут себя



в биологических системах так же, как их стабильные изотопы. Это обстоятельство позволяет проследить судьбу не только радиоактивных изотопов, но и различных меченых органических и неорганических соединений и контролировать их в процессе обмена. Большим достоинством этого метода является его высокая чувствительность, что позволяет использовать в исследованиях ничтожно малые в весовом отношении количества меченого соединения, которые не могут изменить нормальное течение жизненных процессов.

Важным достижением современной биохимии, полученным с помощью радиоактивных веществ, можно считать представление о динамическом состоянии обменных процессов в живом организме, о взаимопревращаемости многих веществ, о непрерывном распаде и ресинтезе, непрерывном обновлении химических соединений живых клеток.

Благодаря радиоактивным индикаторам удалось определить скорость обновления различных составных частей тканей и органов. Доказано, что белки мышц заменяются медленнее других, а печени, плазмы крови, особенно слизистой кишечника, обладают большой скоростью обновления. Были получены также прямые доказательства обмена между белками мышц, плазмы, печени и других органов.

С помощью метода меченых атомов удалось выяснить такие важные вопросы, как влияние веществ пищевого рациона на продуктивность животных, вопросы промежуточного обмена и взаимопревращаемости соединений, пути распада и синтеза химических веществ в живом организме животных.

Радиоиндикационный метод позволил выяснить особенности обмена и синтетической роли микрофлоры рубца и других отделов желудочно-кишечного тракта жвачных животных, которые не могли быть определены другими методами.

Другой важный результат применения радиоактивных изотопов при изучении минерального обмена – установление скорости обновления минерального состава органов и некоторых соединений костной ткани.

Метод радиоактивных индикаторов нашел применение в энтомологии при изучении путей и скорости миграции мух, комаров, клещей и других насекомых-переносчиков патогенных микроорганизмов и эффективности предпринимаемых мер борьбы с ними.

Стимулирующее действие малых доз на рост, развитие низших грибов имеет большое практическое значение в производстве антибиотиков и других биологически активных веществ. Особенно демонстративно стимулирующее действие ионизирующих излучений прослежено на растениях. Установлено, что при определенных дозах радиации наблюдается стимуляция роста и развития. Именно поэтому в ряде случа-

ев проводят предпосевное облучение семян, что приводит к существенному повышению урожайности.

В сельском хозяйстве ИИ используются также для выведения новых сортов зерновых и других растений. Дозы облучения способствуют генетическим мутациям. Как правило, мутации вредны, но иногда появляется мутация, приносящая пользу какому-нибудь виду или человеку. Искусственное радиоактивное облучение позволяет человеку ускорить процесс эволюции в желательном для себя направлении.

Мутации, вызванные радиоактивным облучением, имеют особую пользу для ученых-селекционеров в случаях, когда требуется видоизменить какую-нибудь специфическую особенность, например цвет зерна или высоту стебля, не нарушая других полезных характеристик данного вида; или когда нужно вызвать мутацию вегетативно размножающихся видов. К настоящему времени с помощью радиоактивного облучения было создано свыше 80 мутаций сельскохозяйственных растений, выгодных с коммерческой точки зрения. Среди них 10 сортов пшеницы, 4 сорта риса, 11 сортов ячменя.

Современное сельскохозяйственное производство в значительной степени зависит от использования химикатов в качестве удобрений, пестицидов, инсектицидов, а также для регулирования роста растений. Одной из задач сельскохозяйственного производства является эффективное применение удобрений. С помощью радионуклида Р проводятся исследования по применению удобрений, содержащих фосфор. Радионуклид N является незаменимым в исследованиях обмена азота. В этом случае целью исследований является не только изучение эффективности применения азотистых удобрений, но и проблем биологической фиксации азота растениями. Метод меченых атомов позволяет определить, какое количество удобрений было фактически потреблено растениями, сколько осталось в почве для будущих урожаев и сколько потеряно.

Радионуклиды позволяют определять сорта растений, которые наиболее эффективно используют для удобрений, определять наиболее приемлемые для усвоения формулы химических соединений, содержащих нужные вещества, проследить пути распространения и места накопления элементов, вносимых через удобрения или извлекаемых из почвы, определить наилучшие сроки и режим внесения удобрений. Эти исследования послужили основой для разработки методов контролируемого высвобождения питательных веществ, т. е. приготовления и внесения удобрений в такой форме, чтобы их извлечение и усвоение растениями происходило постепенно. Биологическая фиксация азота является одним из путей поддержания уровня содержания азота в почве и сохранения ее плодородия. Поэтому важную роль в восстановлении почвы, подвергшейся эрозии, иг-

рают растения, фиксирующие в почве азот. Метод меченых атомов с применением N дает возможность определять степень фиксации азота различными растениями и подобрать наиболее эффективные.

Применение пестицидов для борьбы с сорняками требует проведения исследований поведения их в окружающей среде. Остаточные количества пестицидов в продуктах питания представляют особую проблему. Необходимо также заботиться о почвенных и водных ресурсах. Объекты, на которые не нацелены пестициды, не должны подвергаться их вредному воздействию. Поэтому важно выделить пестициды всюду и измерить их количество. С помощью радиоактивных изотопов, введенных в пестициды, можно определить, какое количество пестицидов достигло цели, сколько ушло в остаток и куда попал этот остаток. Применение метода меченых атомов дает возможность провести качественный и количественный анализ.

#### **8.4. Активационный анализ**

Этот метод был открыт Г. Хевеши в 1936 г. Облучая редкоземельный элемент диспрозий нейтронами от радий-бериллиевого источника, Хевеши обнаружил сильную активность облученного диспрозия. Это натолкнуло его на мысль, что таким методом можно определять содержание диспрозия в смесях с другими веществами. В СССР этот метод был использован впервые в 1939 г. А. Гринбергом и Ф. Филимоновым.

Для определения элементного состава широко используется активационный анализ, который является эффективным и во многих случаях незаменимым средством определения элементного состава вещества и материалов, обнаружения в них ультрамалых количеств примесей, и основанного на этом анализе контроля технологических процессов. Современная технология предъявляет жесткие требования к чистоте материалов. Например, развитие полупроводниковой техники потребовало разработки методов определения содержания примесей в количествах  $10^{-8}$  % и менее. Высокая чувствительность метода и небольшое время, требующееся для проведения анализа, делает его незаменимым средством в промышленности чистых веществ.

Если предположить, что поток нейтронов  $10^{13}$  нейтронов/с (таков поток тепловых нейтронов в исследовательских реакторах), то чувствительность метода составит для большинства элементов таблицы Менделеева  $10^{-12}$ – $10^{-7}$  г.

Образовавшуюся активность можно измерить счетчиками, если в результате облучения в смеси образуется один радиоактивный элемент или если периоды полураспадов элементов значительно отличаются. В других случаях необходимо использовать спектрометрический

анализ, поскольку каждому образующемуся радиоизотопу соответствует не только определенный период полураспада, но и энергия и тип частиц, образующихся при распаде. Естественно, что метод будет тем чувствительнее, чем значительно отличаются характеристики изотопов, образующихся в исследуемом материале.

Несмотря на определенные ограничения, для редкоземельных элементов нейтронно-активационный метод на три порядка, а для свыше 30 элементов на один-два порядка более чувствителен, чем методы аналитической химии. Необходимо также отметить, что нейтронно-активационный анализ является во многих случаях неразрушающим методом, он позволяет производить автоматизированные измерения и часто дешевле даже конкурирующих с ним по точности, для некоторых элементов, химико-аналитических методов. Эти аспекты и определяют всевозрастающее использование нейтронно-активационного метода во многих областях науки и техники. Большой интерес представляют, в частности, автоматизированные системы контроля качества продукции. В США и РФ существуют серийно выпускаемые установки, транспортирующие образцы в зону облучения, затем автоматически производится определение активности и состав образцов, в случае необходимости – их отбраковка. Производительность установки 10...12 исследований в час.

#### **8.4.1. Криминалистика**

Если вещество при малом его количестве имеет сложный состав, то энергетический спектр его гамма-излучения будет состоять из нескольких компонентов, каждому из которых в спектре соответствуют максимумы при некоторых энергиях. Все это приводит к тому, что гамма-спектр малого количества какого-либо вещества обладает настолько индивидуальной спецификой, что он совпадает только со спектром того же самого вещества. Так гамма-спектр нитки одежды определяется сортом сырья, технологией обработки пряжи, спецификой изготовления костюма, спецификой его загрязнения и т. д. По указанным причинам активационный анализ занимает важное место в криминалистике.

Самой убедительной уликой против преступника всегда являются отпечатки его пальцев. Техника изучения отпечатков пальцев в настоящее время развилась настолько, что она позволяет производить анализ практически невидимых или полустертых отпечатков, а также отпечатков, оставленных на грубых поверхностях.

Однако как метод, основанный на изучении отпечатков пальцев, так и метод, основанный на исследовании «почерка» преступника, страдают серьезными недостатками: опытный преступник редко оставляет после себя улики такого рода.

И все-таки следы преступника всегда остаются. Только они имеют настолько невинный характер, что ими не может воспользоваться самый опытный сыщик, даже если он обладает эрудицией и интуицией Шерлока Холмса и в совершенстве владеет его методом дедукции. Речь идет о ничтожном количестве какого-либо вещества или о мельчайшем предмете, которые преступник невольно оставляет на месте преступления или, наоборот, случайно уносит оттуда на себе. Этими веществами и предметами может быть пыль на одежде или обуви, следы краски, волос, нитка от одежды, следы пороха, металлические опилки и т. п. При этом для анализа иногда оказывается достаточно мельчайшей пылинки вещества весом  $10^{-11}$  г, т. е. одной десятитысячной доли микрограмма. Это в десять миллионов раз меньше веса одного короткого волоска! Трудно себе представить столь аккуратного преступника, который сумеет не оставить вещественных улик такого ничтожного масштаба.

Например, чтобы определить, был ли отравлен человек мышьяком, достаточно иметь для анализа несколько миллиграммов волос. Дело в том, что мышьяк селективно осаждается на волосах, а зная, что рост волос составляет 0,35 мм в день, можно определить и время отравления. Для этого волос необходимо разрезать на соответствующие части и отдельно исследовать.

Именно таким путем пытались определить, был ли отравлен Наполеон? В распоряжении исследователей имелся волос Наполеона (правда, абсолютной уверенности в этом нет) длиной 13 см. После облучения на реакторе оказалось, что содержание мышьяка в 10 раз превышает норму. Кроме того, имелся пик потребления мышьяка приблизительно в течение четырех месяцев. Из этих данных можно сделать вывод, что непосредственной причиной смерти Наполеона не явилось отравление мышьяком. Возможно, еще до вторичного отравления на остров Святой Елены Наполеона и пытались отравить. Основанием для этого служат результаты анализа волос Наполеона до ссылки. В них оказалось больше мышьяка, чем в первых образцах.

Однако ведь Наполеон мог принимать мышьяк вместе с лекарствами или даже просто принимать мышьяк регулярно в малых дозах для того, чтобы выработать в себе иммунитет против потенциального отравления. Итак, полной разгадки смерти императора пока нет.

А вот в другом случае – истории смерти американского полярного исследователя Ч.Ф. Холла – достоверно доказано, что Холл был отравлен мышьяком участниками экспедиции, которую он возглавлял.

В криминалистике уже имеются десятки случаев применения нейтронно-активационного анализа. Все это приводит к тому, что  $\gamma$ -спектр остатков какого-нибудь вещества, найденного на месте преступления,

обладает настолько индивидуальной спецификой, что он совпадает только со спектром того же самого вещества (которое может быть изъято у предполагаемого преступника). Часто объектом исследования являются волосы. Оказывается, волосы одного человека одинаковы, но отличаются от волос других людей (те же составные части), они отличаются количественным содержанием различных компонентов. Специальная проверка, сделанная для ~1000 волос, взятых у разных людей, показала убедительное различие соответствующих им  $\gamma$ -спектров. Состав волос может измениться, если человек сменил образ жизни или сменил место жительства, например переехал из Европы в Америку. Состав волос может дать информацию о профессии человека. Если, например, в волосах содержатся редкие элементы, такие как тантал, вольфрам, кобальт или кадмий, то логично предположить, что этот человек работает там, где соответствующие элементы широко используются.

Благодаря активационному анализу можно узнать исходный географический пункт при контрабанде опиума, сравнивая состав почвы, на которой произрастал мак – сырье этого наркотического средства, с химическим составом последнего. Проводя анализ состава электрических проводников, выпускаемых различными фирмами, можно определить, откуда был взят якобы украденный медный телефонный кабель. В случае, когда неясно, было ли совершено убийство или самоубийство из револьвера, с помощью активационного анализа производится измерение количества бария или сурьмы на руках подозреваемого или жертвы. С учетом характерного содержания сурьмы в патронах производится также идентификация принадлежности оружия.

То же заключение справедливо и относительно любых других предметов и веществ. Например,  $\gamma$ -спектр краски зависит от типа и количества составных частей, которые определяются не только задуманным колером, но и временем изготовления краски, местом добычи сырья, технологией его очистки и переработки, допуском отклонением в процентном составе и т. д. В результате оказывается, что мельчайшие следы краски на рукаве или обуви преступника имеют в точности тот же  $\gamma$ -спектр, что и краска на месте преступления, и, наоборот, человеку, стремящемуся создать точную копию краски (например, художнику, занимающемуся подделкой картин), никогда этого не удастся сделать. Аналогично,  $\gamma$ -спектр нитки от одежды определяется сортом сырья, технологией обработки пряжи и ткани на фабрике, спецификой изготовления костюма (например, декатировкой) и особенностями его использования (например, специфическое загрязнение или, наоборот, недавняя химическая очистка определенными моющими составами) и т. п.

По анализу капли масла от автомобиля можно идентифицировать, на этом ли автомобиле совершено преступление. В масле неизбежно содержатся металлические присадки и частицы металла от двигателя, которые для каждого автомобиля находятся в определенном соответствии и количестве.

Установлено, что состав веществ, оставленный каждым человеком при прикосновении к предметам рукой, ладонью или лбом, строго индивидуален. Это тоже может являться основанием для подтверждения или опровержения преступления.

В качестве примера возможности использования ядерно-физических методов для предотвращения преступлений приведем запатентованный в США способ обнаружения взрывчатки в багаже авиапутешественников. Способ основан на том, что взрывчатка обычно содержит азот ( $N^{14} + N^{15}$ ), который при облучении его нейтронами превращается в  $N^{15}$  и радиоактивный изотоп  $N^{16}$ , испускающий  $\gamma$ -кванты с энергией  $E_\gamma \approx 6$  МэВ ( $T_{1/2} = 7$  с). Появление  $\gamma$ -квантов с такими  $E_\gamma$  и  $T_{1/2}$ , при облучении какого-нибудь чемодана, является сигналом о наличии в чемодане веществ, содержащих азот, т. е. взрывчатки. Способ хорош тем, что в связи с малостью  $T_{1/2}$  его применение не требует длительного облучения, так что проверку чемоданов можно осуществлять, перемещая их с помощью конвейерной ленты мимо источника нейтронов и детектора  $\gamma$ -квантов.

Но не только криминалистика является областью применения активационного анализа. Он используется и для решения многих других задач. Например, для решения одной из важнейших на сегодняшний день задачи-мониторинга состояния окружающей среды.

Активационный анализ используется для измерения концентрации вредных веществ и элементов (Ca, Fe, Rb, Br) в зонах перегруженных автомагистралей, для определения микроэлементов в атмосфере Антарктиды и водах Мирового океана. На основе активационного анализа разработан оригинальный метод мониторинга качества окружающей среды, в котором индикатором служит химический состав слюны человека. Метод позволяет определять в сухом остатке слюны человека концентрации более 30 элементов, что дает возможность объективно и достоверно судить об изменении показателей внешней среды обитания.

Активационный анализ используется для определения большой группы элементов в почве и растениях, отбираемых в районах размещения станций комплексного фоновый мониторинга (Березинский, Кавказский, Баргузинский заповедники). Это позволяет определить с высокой точностью уровень вредных веществ в незагрязненных деятельностью человека зонах, которые могут служить и служат базой для сравнения уровней загрязнения в других районах.

#### 8.4.2. Изотопная геохронология и радиоуглеродный метод

Основная задача геохронологии – определение возраста геологических событий. Современная измерительная техника позволяет определить возраст событий произошедших несколько дней назад, и, например, возраст Земли, даже возраст Вселенной. Датирование событий и объектов чаще всего основывается на процессе радиоактивного распада и спонтанного деления ряда изотопов таких элементов, как I, Rb, Sm, La, U, Th. Это долгоживущие изотопы, которые дают информацию об истории Земли, о происхождении пород. Дочерние изотопы  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  позволяют определить скорость накопления осадочных пород и возраст минералов, которые образовались в течение последнего миллиона лет. Наконец, сравнительно с короткоживущими космогенные радионуклиды, такие как  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  и др., дают возможность датировать события недавнего геологического прошлого, исчисляемого десятками-сотнями тысяч лет. Космогенные радионуклиды формируются в результате взаимодействия атомов стабильных изотопов и космического излучения в атмосфере в обнажающихся породах. Основным источником бомбардирующих частиц, способных вызвать реакции в атмосфере, является космическое излучение галактического и солнечного происхождения. Галактическое излучение обладает наибольшей энергией ( $10^2 \dots 10^5$  МэВ) и состоит из протонов (84 %),  $\alpha$ -частиц и более тяжелых ядер до Ni включительно (около 2 %). Интенсивность солнечного излучения на два порядка выше, но энергия частиц не превышает 500 МэВ. Состав солнечного излучения меняется от вспышки к вспышке и в среднем представлен на 70 % протонами, на 29 % –  $\alpha$ -частицами, на 1 % – более тяжелыми ядрами. Особый интерес представляют космические тела, не защищенные атмосферой. Продукт взаимодействия первичного космического излучения с их веществом накапливается, дает информацию об эволюции состава излучения за длительный период времени (более чем за 4,5 млрд лет), о его источниках и позволяет расширить представления о строении и эволюции Вселенной.

Основной прием, применяемый при определении абсолютного геологического возраста, это определение содержания радиоизотопа и накопившихся за определенный промежуток времени устойчивых продуктов его распада. В зависимости от начальных и конечных продуктов распада основные методы геохронологии получили название свинцово-урановый, калий-аргоновый, рубидий-стронциевый, самарий-неодимовый.

Наиболее пригодными древними объектами для датирования методами ядерной хронологии оказались каменные метеориты, которые в измеряемых количествах содержат торий, уран, калий, рубидий, самарий. Железные метеориты иногда удается датировать по силикатным



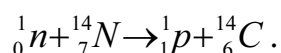
включениям, пригодным для датирования калий-аргоновым или рубидий-стронциевым методом.

Расчеты возраста Земли основаны на обработке данных по измерениям изотопа свинца, а также рубидия-стронция и самария-неодима. Рассчитанный по этим данным возраст Земли 4 500...4 600 млн лет, что очень близко к возрасту самых древних метеоритов.

Изотопные исследования позволяют определить не только возраст тех или иных объектов, но и дают возможность оценить длительность существования жизни на Земле. Например, в датированных свинцово-урановым методом отложениях железистых формаций Канады (3 000 млн лет) обнаружен след сульфатредуцирующих бактерий, которых нет в самых древних датированных отложениях (3 800 млн лет), обнаруженных в Западной Гренландии. Однако в этих отложениях органического углерода и углерода карбонатов такое же количество, что и в настоящее время. Отсюда следует вывод о том, что геохимический углеродный цикл, связанный с фотосинтезом, стабилизировался около 3 800 млн лет назад. Одним из наиболее важных методов радиоизотопной геохронологии, позволяющих исследовать такие события, как эволюция и миграция *homo sapiens*, развитие и гибель мамонтовой фауны, эволюция многолетнемерзлых пород и ледников, развитие гидросферы и современного растительного покрова, является радиоуглеродный метод. Теоретическое предсказание и экспериментальное подтверждение образования в атмосфере космогенного изотопа  $^{14}\text{C}$  было выполнено в 1940-е годы У. Либби. Этот ученый не только решил физико-химическую задачу, связанную с изменением концентраций  $^{14}\text{C}$  в атмосфере и его распределением в углеродосодержащих объектах, но и сам впервые определил возраст образцов древесины из погребения египетских фараонов и древесных колец с известным возрастом. Эти работы были удостоены Нобелевской премии 1960 г.

Углерод – один из самых распространенных элементов во вселенной и основа существования жизни на Земле. В природе распространены три изотопа – два стабильных  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  и один радиоактивный  $^{14}\text{C}$ . Их соотношение примерно таково:  $^{12}\text{C}$  – 98,89 %,  $^{13}\text{C}$  – 1,11 %, а количество  $^{14}\text{C}$  в современном органическом веществе в  $10^9$  (т. е. в триллион раз) меньше, чем  $^{12}\text{C}$ , а в древней органике в  $10^{14}$ ... $10^{15}$  раз меньше.

Радиоактивный углерод  $^{14}\text{C}$  формируется в верхних слоях атмосферы в реакциях стабильного изотопа азота  $^{14}\text{N}$  с образовавшимися в результате космического облучения вторичными нейтронами:



Образовавшиеся атомы  $^{14}\text{C}$  при взаимодействии с кислородом атмосферы переходят в молекулы диоксида углерода. Происходит

быстрое перемешивание  $\text{CO}_2$  в атмосфере, и концентрация радиоактивного изотопа углерода становится постоянно соответствующей состоянию равновесия. Равновесная концентрация не меняется, поскольку распад  $^{14}\text{C}$  уравнивается его образованием в атмосфере. Молекулы углекислого газа попадают в ткани растений в результате фотосинтеза, а также путем поглощения через корни. Концентрация  $^{14}\text{C}$  в живых зеленых растениях остается постоянной, поскольку распад  $^{14}\text{C}$  уравнивается его поглощением из атмосферы. В организме травоядных животных и в тканях тех животных, в чей организм углеродосодержащие ионы попадают из атмосферы, концентрация  $^{14}\text{C}$  также постоянна в течение их жизни. Когда растение или животное умирает, поглощение  $^{14}\text{C}$  из атмосферы прекращается, и в результате радиоактивного распада концентрация  $^{14}\text{C}$  уменьшается. При распаде радиоактивного углерода испускается  $\beta$ -частица с энергией 0,155 МэВ и образуется стабильный изотоп азота  $^{14}\text{N}$ . Содержание естественного  $^{14}\text{C}$  в современной древесине составляет около  $1 \cdot 10^{-10} \%$ . Удельная активность углерода биосферы оценивается примерно в 14 расп./(мин·г).

Период полураспада изотопа  $^{14}\text{C}$  составляет  $5\,568 \pm 30$  лет, и можно легко вычислить возраст того или иного образца органики по формуле

$$A(t)/A_0 = \exp(-0,693t/5\,568),$$

где  $t$  – возраст органического вещества в годах, т. е. время, истекшее с момента смерти растения или животного;

$A(t)$  и  $A_0$  – удельная активность древнего и современного образца, соответственно.

Определение возраста по радиоуглероду основывается на ряде допущений, а именно: интенсивность космического излучения и, как следствие, концентрация радиоуглерода остаются постоянными в пределах углеродной хронологической шкалы; время обмена радиоуглерода между атмосферой и биосферой значительно меньше периода полураспада  $^{14}\text{C}$  и постоянно на протяжении тысячелетий; содержание радиоуглерода в образце убывает только в результате радиоактивного распада.

В заключение можно подчеркнуть, что изотопная геохронология является важнейшей отраслью геологических, географических и археологических исследований, дающей точную датировку событий, происходивших на Земле в прошлом.

### ***Ядерно-физические методы поиска полезных ископаемых***

Широкий круг задач, связанных с происхождением и эволюцией Земли, с изучением строения и свойств земной коры, с поиском и добы-

чей полезных ископаемых, решает ядерная геофизика. Далее рассмотрены физические принципы и методические основы использования ядерной физики при поиске полезных ископаемых.

### *Радиометрическая разведка*

Радиометрическая разведка основана на измерении полей ионизирующих излучений естественных радиоактивных элементов. По условиям применения в разведке выделяют полевые методы поисков и оценки аномалий, методы опробования руд на месте залегания и методы лабораторного анализа.

Главная область применения радиометрической разведки – поиск и разведка месторождений U и Th, содержащих основное сырье для атомной энергетики.

Лабораторные методы радиометрического анализа применяют для определения содержания или активности естественных радиоактивных элементов в горных породах, водах и воздухе путем сравнения интенсивностей ионизирующих излучений пробы и стандартного образца с известным содержанием радионуклидов. Пробу стандартного образца породы насыпают в одинаковые контейнеры, формы и размер которых зависят от измеряемого излучения и конструктивных особенностей детектора. Полевые поисковые методы можно разбить на три группы: 1) методы поиска по излучению; 2) эманационные методы; 3) методы поиска, основанные на различных проявлениях радиоактивного распада. Преобладающее значение имеет первая группа, включающая воздушные (самолетные и вертолетные), автомобильные, пешеходные, глубинные и подводные модификации  $\gamma$ -съемок. Применение  $\gamma$ -спектральной аппаратуры позволяет получить широкую геохимическую информацию распределения радиоактивных элементов, нередко являющихся индикаторами процессов, происходящих в рудах. Внедрение многоканальных  $\gamma$ -спектрометров дает возможность, наряду с геологическими задачами, решать некоторые вопросы, экологически ставшие актуальными в связи с загрязнением атмосферы, биосферы и гидросферы естественными и искусственными радиоактивными элементами.

Аэрогамма-съемка является скоростным методом поиска урановых месторождений, позволяющим локализовать перспективные площади для наземных исследований. На современном этапе она используется также для геолого-геохимического картирования и поиска нерадиоактивных полезных ископаемых (Tf, Ta, Nb, P, Mo, Au, Al, Sn и др.), имеющих генетическую или пространственную связь с зонами аномального распределения урана (радия), тория, калия. Главная область применения авто-пешеходной  $\gamma$ -съемки – детальный поиск радиоактив-

ных руд и связанных с ним полезных ископаемых. Регистрация излучения в глубинных шпурах или мелких скважинах (глубинная  $\gamma$ -съемка) является ведущим методом поиска урановых месторождений на площадях, закрытых рыхлыми отложениями. Подводная  $\gamma$ -съемка наряду с поиском полезных ископаемых используется для геологического картирования морских осадков, и в первую очередь для оконтуривания зон развития песчаных, глинистых или илистых отложений, для детального изучения грунтов при строительстве портовых сооружений, для исследования процессов в мелководных частях шельфа и т. д.

Эманационные методы основаны на регистрации радиоактивных газов (эманации) радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ , торона  ${}^{220}_{86}\text{Tn}$  и актиона  ${}^{219}_{86}\text{An}$ , входящих в цепочки последовательных превращений нуклидов уранового, ториевого и актиноуранового рядов. Образующиеся при радиоактивном распаде газы попадают в поры горной породы и в результате диффузии и конвекции распространяются в пространстве, окружающем эманационный источник. При изучении распределения эманации в горных породах, рыхлых отложениях, водах и атмосферном воздухе обнаруживаются эманационные аномалии, а по ним – локальные скопления радиоактивных руд.

Третья группа поисковых методов основана на физических явлениях, сопровождающих радиоактивный распад. К таким явлениям относятся накопления конечных продуктов в рядах урана, тория, актиноурана (метод радиогенных изотопов свинца) и нарушения в кристаллической решетке под действием ионизирующих излучений (метод радиационных дефектов).

Свинцовый метод является одним из фундаментальных методов в ядерной геохронологии. В 1970-х годах разработаны и внедрены высокопроизводительные методики оценки радиогеохимических аномалий по изотопам свинца, использующиеся при поиске месторождений урана.

Методы радиационных дефектов основаны на пропорциональной зависимости между дозой ионизирующего излучения, полученной минералом за некоторое время, и изменениями в его кристаллической решетке. Под действием ионизирующих излучений возникают точечные непримесные дефекты типа вакансий междуузельных атомов, образованные путем смещения атомов или ионов в узле решетки. Наличие радиационных дефектов приводит к изменению окраски минералов, возникновению микротрещин, появлению люминесценции и термолюминесценции, возникновению и усилению парамагнитных свойств. Данные изменения свойств под действием ионизирующих излучений так или иначе используются для изучения поиска радиоактивных руд.

### **8.4.3. Нейтронно-активационный анализ человека**

Заголовок этого раздела наверняка вызовет недоумение у многих читателей. Действительно, если о нейтронно-активационном анализе, используемом в промышленности и научных исследованиях, известно относительно давно, то нейтронно-активационный анализ человека проводится сравнительно недавно. Это позволяет получить в относительных единицах содержание кальция у данного пациента. Полученные результаты используются для оценки динамики содержания кальция в зависимости от течения болезни или результатов проведенной терапии. Поскольку доза облучения невелика –  $3 \cdot 10^{-3}$  Зв, облучение может быть повторено, если это необходимо, через 6 месяцев.

В организме человека 99 % общего количества кальция содержится в костях. Поэтому этот тип диагностики наиболее полезен для исследований заболеваний костей, которые, в свою очередь, связаны с функциональным состоянием почек.

При ренальном остеопорозе у большинства больных содержание кальция составляет около 20 % от нормы. Это количество у некоторых больных увеличивается на 60 % при осуществлении хирургического вмешательства (удалении околощитовидной железы) или терапии с помощью витамина D.

Чувствительность активационного метода такова, что содержание кальция в теле человека может быть определено с погрешностью  $\pm 8$  %, а изменение у отдельного пациента с погрешностью  $\pm 2$  %.

#### ***Определение кальция и фосфора в позвоночнике***

При этой процедуре облучению подвергается не все тело, а только спинные и грудные позвонки. Размеры поля облучения составляют  $20 \cdot 10$  см<sup>2</sup>. Нейтронно-активационный метод позволяет определить абсолютное содержание кальция и фосфора в позвоночнике с погрешностью  $\pm 4$  и  $\pm 6$  %, соответственно.

Для индивидуума могут быть получены и относительные изменения Са и Р при контроле уровня облучения пациента. Проведенные исследования показали, что для больных ренальной остеодистрофией имеется корреляция между содержанием кальция в позвоночнике и во всем теле. Например, при терапии витаминами группы D<sub>3</sub> наблюдается у большинства пациентов повышение содержания кальция в позвоночнике и во всем теле. Вместе с тем содержание кальция при ренальной остеодистрофии в костях и позвоночнике не связано с радиальной плотностью костей.

Для других заболеваний (остеопороз, гиперкальциемия в слабой форме) содержание фосфора в позвоночнике не коррелирует с общим

содержанием кальция в теле пациента и радиальной плотностью костей. Последнее, вероятно, связано с тем, что существуют региональные изменения в костях, не связанные с общим содержанием кальция и зависящие от степени и тяжести болезни.

Измерение содержания железа и меди в печени представляет большой интерес в тех случаях, когда есть основание подозревать повышенное содержание этих элементов. Например, при некоторых заболеваниях крови (гемохроматозе и болезни Уилсона) количество железа и меди в печени достигает 20 г и 1 г, соответственно. Чувствительность нейтронно-активационного метода такова, что может быть определено содержание железа на уровне 1 г и меди на уровне 150 мг. Этот же метод используется и для определения изменений содержания этих элементов в печени при проведении так называемой «хелатной» терапии.

В настоящее время предпринимаются усилия для повышения чувствительности активационных методов. Тем не менее уже сейчас к несомненному достоинству использования этого метода относят его неинвазивность, т. к. его применение не наносит пациенту повреждений.

### ***Определение содержания азота***

Количество азота во всем теле определяется по наведенной активности при тотальном облучении пациента. Нейтронное излучение генерируется от циклотрона с частотой около 6 кГц и длительностью импульсов 10 мкс.

Далее, после 10 мкс паузы, необходимой для замедления быстрых нейтронов до тепловых скоростей, включаются сцинтилляционные детекторы для подсчета гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ, образующихся за счет реакции  $^{14}\text{N} (n, \gamma) ^{15}\text{N}$ .

Одновременно образуются гамма-кванты (с энергией 2,2 МэВ) захватного излучения на водороде  $\text{H}(n, \gamma)\text{D}$ .

Отношение импульсов этих двух гамма-квантов в течение 20 мкс исследований служит основой для полного определения азота в теле пациента. Дополнительно вводятся поправки на вес больного и данные калибровки, полученные с помощью тканеэквивалентного фантома. Погрешность этого метода составляет  $\pm 4\%$ .

В процессе исследований выяснилось, что интересно сравнивать количество содержания азота с калием. Было обнаружено, что для здоровых людей отношение содержаний этих элементов во всем теле практически постоянно.

Для пациентов с различными заболеваниями это отношение может измениться почти в 2 раза. Возможно, в будущем этот тест явится объективным критерием физиологического состояния пациента.

В заключение следует подчеркнуть, что нейтронно-активационный анализ является относительно новым инструментом в медицине. Многие экспериментальные факты еще требуют уточнений, дополнений и осмысления. Но потенциальные возможности этого метода несомненны. Практически 99 % элементов, входящих в состав человека, могут быть исследованы таким образом и, возможно, в медицине нейтронно-активационный анализ пациента будет применяться в будущем так же широко, как и методы радиоизотопных исследований.

В университете г. Бирмингема этот метод используется уже около десяти лет и в принципе идентичен обычному нейтронно-активационному анализу, только мишенью для облучения нейтронами служат не образцы или пробы различных веществ, а сами пациенты.

Для этой цели используются нейтроны, образующиеся при бомбардировке литиевой или бериллиевой мишеней заряженными частицами с энергией около 10 МэВ на нуклон. При бомбардировке протонами литиевой мишени и дейтронами или ядрами гелия бериллиевой мишени граничная энергия нейтронов составляет 9 МэВ и 35 МэВ, соответственно.

Медицинские исследования проводятся с целью определения содержания во всем теле кальция, азота, натрия. Кроме того, нейтронной активацией определяется количество железа, меди и кадмия в печени, а также кальция и фосфора в позвоночнике. В зависимости от цели исследования количество наведенной активности вычисляется или по кривым распада, или по спектрометрическим измерениям. В первом случае пациента после облучения помещают в счетчик всего тела, защищенный от внешних источников излучений железом. Определение активности производится с помощью восьми кристаллических детекторов NaI (4 над и 4 под больным). Детекторы калибруются по источникам известной активности, распределенным в фантоме человека. Во втором случае спектрометрические измерения производятся последовательно за импульсами нейтронного излучения или одновременно с облучением нейтронами (при определении азота или кадмия).

При спектрометрических измерениях используются в основном кристаллы NaI. Для определения кадмия применяют Ge-Li-полупроводниковые детекторы, для того чтобы отличить гамма-излучение кадмия (662 кэВ) от пика аннигиляционного излучения (511 кэВ).

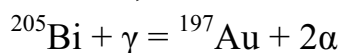
Радиационные нагрузки при нейтронно-активационном анализе пациентов сравнимы с нагрузками при обычной рентгеновской диагностике. Например, при облучении всего тела пациента для определения содержания Na, Ca, N доза облучения составляет  $3 \cdot 10^{-3}$  Зв,  $10^{-2}$  Зв,  $10^{-3}$  Зв, соответственно. При локальном облучении позвоночника дозы облучения составляют около  $3 \cdot 10^{-2}$  Гр или  $10^{-3}$  Зв, а при облучении печени –

от  $3 \dots 5 \cdot 10^{-2}$  Гр или  $3 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-3}$  Зв. (Напомним, что Грей (Гр) является единицей поглощенной дозы, а Зиверт (Зв) – единицей эквивалентной поглощенной дозы.) Для сравнения приведем дозы облучения при некоторых рентгеновских исследованиях. Доза облучения печени при некоторых исследованиях достигает 0,3 Гр, а при снимках зубов –  $2 \cdot 10^{-2}$  Гр.

Несмотря на то что дозы облучения пациентов при активации нейтронами сравнимы или даже меньше, чем при рутинных рентгеновских процедурах, назначения врачом на этот вид диагностики производятся особенно тщательно, и положительное решение принимается только тогда, когда другие методы исследований не в состоянии представить адекватную информацию.

#### 8.4.4. Радиоактивное золото

Писатель К. Дауман в своей книге «Конец золота», вышедшей в 1938 году, сообщил нам рецепт, как превратить висмут в золото: отщеплением двух альфа-частиц от ядра висмута с помощью рентгеновских лучей большой энергии. Такая  $(\gamma, 2\alpha)$ -реакция неизвестна и до настоящего времени. Помимо этого, гипотетическое превращение



не может идти и по другой причине: не существует устойчивого изотопа  ${}^{205}\text{Bi}$ . Висмут – моноизотопный элемент! Единственный же природный изотоп висмута с массовым числом 209, который можно получить только по реакции Даумана – только радиоактивное золото-201, которое с периодом полураспада 26 мин снова превращается в ртуть. Как видим, герой романа Даумана, ученый Баргенгронд, не мог получить золото!

Теперь нам известно, как действительно получить золото. Вооруженные знанием ядерной физики, рискнем на мысленный эксперимент: 50 кг ртути превратим в атомном реакторе в равновесное золото – в золото-197. Настоящее золото получается из ртути-196. К сожалению, этого изотопа содержится в ртути только 0,148 %. Следовательно, в 50 кг ртути присутствует лишь 74 г ртути-196, и только такое количество мы можем трансмутировать в истинное золото.

74 г ртути-196 содержат  $2,27 \cdot 10^{23}$  атомов. В секунду с данным потоком нейтронов мы можем трансмутировать  $1,69 \cdot 10^{15}$  атомов ртути. Сколько времени потребуется для превращения всего количества ртути-196? Вот ответ: потребуется интенсивная бомбардировка нейтронами из реактора с большим потоком в течение четырех с половиной лет! Эти огромные затраты мы должны произвести, чтобы из 50 кг ртути в конце концов получить только 74 г золота, и такое синтетическое золото надо еще отделить от радиоактивных изотопов золота, ртути и др.

Да, это так, в век атома можно сделать золото. Однако процесс слишком дорог. Золото, полученное искусственно в реакторе, бесценно.



Проще было бы продавать в качестве «золота» смесь его радиоактивных изотопов. Может быть, писатели-фантасты соблазнятся на выдумки с участием этого «дешевого» золота?

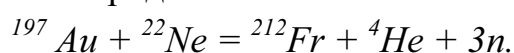
«Mare tingerem, si mercuris esset» (**Я море бы превратил в золото, если бы оно состояло из ртути**). Это хвастливое высказывание приписывали алхимику Раймундусу Луллусу. Предположим, что мы превратили не море, но большое количество ртути в 100 кг золота в атомном реакторе. Внешне неотличимое от природного, лежит перед нами это радиоактивное золото в виде блестящих слитков. С точки зрения химии это тоже чистое золото.

Какой-нибудь миллионер покупает эти слитки по сходной, как полагают, цене. Он и не подозревает, что в действительности речь идет о смеси радиоактивных изотопов  $^{198}\text{Au}$  и  $^{199}\text{Au}$ , период полураспада которых составляет от 65 до 75 ч. Можно представить себе этого скрягу, увидевшего, что его золотое сокровище буквально утекает сквозь пальцы.

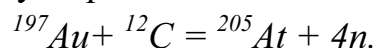
За каждые три дня его имущество уменьшается наполовину, и он не в состоянии это предотвратить; через неделю от 100 кг золота останется только 20 кг, через десять периодов полураспада (30 дней) – практически ничего (теоретически это еще 80 г). В сокровищнице осталась только большая лужа ртути. Обманчивое золото алхимиков!

Современная наука вне всякого сомнения скажет: превращение элементов – да, превращение в золото – нет! Для чего? Сегодня золото растрачивают, не задумываясь, для синтеза других элементов, представляющих интерес для науки. Золото используют, чтобы искусственно получить изотопы франция и астата – элементов, которые, как известно, нельзя получить из природных источников. Здесь также алхимию ставят с ног на голову.

Франций получают из золота, которое в современных ускорителях бомбардируют ионами кислорода или неона:



Астат образуется путем превращения золота при обстреле последнего разогнанными ядрами углерода:



Вот каким «дорогим» стало золото для современной науки: она не стремится получить его искусственно, а, скорее, использует как «сырье» для синтеза других элементов.

## 8.5. Ядерные взрывы в мирных целях

Что же такое взрыв? Впервые определение этому понятию в России дал в 1848 г. наш выдающийся ученый М.В. Ломоносов в работе «О природе и рождении селитры»: «Взрыв – это очень быстрое выделение большого количества энергии и большого объема газов». Что

означает «очень быстрое» выделение энергии, тем более что «быстрота» – понятие относительное? Это значит, что выделение энергии при взрыве является более быстрым, чем другие формы выделения энергии в сходных условиях (например, при горении). Чтобы выделившаяся энергия могла осуществить механическое действие, нужно рабочее тело, то есть вещество, которое могло бы передать окружающей среде достаточно большое давление. Этим рабочим телом являются газообразные продукты взрыва, которые, будучи сильно нагретыми и сжатыми, расширяются и производят механическую работу. Скорость распространения процесса взрыва, называемого детонацией, весьма велика и достигает 9 км/с.

История применения взрыва берет свое начало в X в., когда был изготовлен черный порох (смесь мелко раздробленного угля и селитры). Если его поместить в замкнутый объем (в ствол пушки, грунт и т. п.), происходит быстрое его сгорание, напоминающее взрыв. Если же в сосуде с порохом имеется отверстие, порох горит сравнительно медленно, а образующиеся при этом газы вырываются из отверстия в виде струи, представляя собой простейший вариант реактивного двигателя.

Уже в 1552 г. при осаде Казани войсками Ивана Грозного была взорвана одна из крупнейших башен Казанского кремля. А во время царствования Петра I были созданы приборы для определения удельной энергии взрыва черного пороха. Кстати, именно Петру I принадлежит одно из первых предложений по использованию взрыва в мирных целях, а именно автоматическое тушение пожаров: внутри помещения, охраняемого от огня, устанавливали бочку с водой, в которой размещался заряд из пороха. В различные части помещения от заряда прокладывали огнепроводящие шнуры. При пожаре они подрывали заряд в бочке с водой, которая, выливаясь, тушила пожар.

Развитие теории взрывных явлений связано с именами таких выдающихся ученых, как Л. Эйлер, Д. Чепмен, Э. Жуге, В. Михельсон, Я. Зельдович, Ю. Харитон, М. Лаврентьев, К. Станюкович, А. Седов, Г. Петровский, Ф. Баум и др.

Во время ядерного взрыва выделяется огромная энергия, поэтому с самого начала работ над атомной бомбой ученые-атомщики стали думать об ее использовании в мирных целях. Так, каждый килограмм термоядерного топлива способен в составе термоядерного устройства выделить энергию, эквивалентную взрыву 30 тыс. т взрывчатого вещества. Заряд такой мощности стоит около миллиона долларов. При дальнейшем увеличении мощности ядерного устройства его стоимость растет незначительно. Термоядерный взрыв сегодня – это самый дорогой и в то же время самый дешевый источник энергии на Земле.

Конечно, существуют возражения против технического применения ядерных взрывов. Они достаточно серьезны и научно обоснованы. И связаны с опасностью радиоактивного заражения окружающей среды и большим энерговыделением при взрыве.

Требования к мирным ядерным зарядам существенно отличаются от требований к боевым зарядам. С одной стороны, эти требования мягче, так как нет жестких условий на массу ядерного заряда, форму, габариты, срок службы, а с другой – некоторые требования более высокие, например по допустимым количествам образующихся при взрыве осколков деления, остающихся несгоревшими плутонию и тритию, химическому составу конструкционных материалов и т. п. В боевых термоядерных зарядах примерно половина энергии выделяется в реакциях деления ядер урана и плутония с образованием соответствующего количества радиоактивных осколков деления, что и является главным препятствием для использования таких зарядов в промышленности. Делать ядерный заряд, при взрыве которого будут полностью отсутствовать осколки деления, пока никто не умеет. Чистыми мирными термоядерными зарядами считают заряды, в которых основная доля энергии выделяется в термоядерных реакциях ( $> 90\%$ ). Степенью чистоты такого заряда называют выраженное в процентах отношение энергии, полученной в реакциях синтеза, к полной энергии взрыва.

Огромная работа больших коллективов математиков, физиков, конструкторов, экспериментаторов позволила создать чистые промышленные заряды, приступить к разработке проектов по их мирному применению и осуществить некоторые эксперименты. Не менее важной проблемой для промышленного использования ядерных взрывов является исследование их воздействия на окружающую среду.

При ядерном взрыве за миллионные доли секунды выделяется огромная энергия. При подземном взрыве амплитуда ударной волны в горной породе столь велика, что даже на расстоянии нескольких сот метров от центра взрыва происходит интенсивное дробление горных пород, а при выходе ударной волны на поверхность земли откалываются плиты шириной до нескольких километров. Давление вблизи ядерного взрыва достигает давления внутри звезд.

В 1957–1958 годах в США была сформирована обширная программа использования ядерных взрывов в промышленных целях под названием «Project Plowshare» (программа «Плуг»). Планы были грандиозные:

- прокладка еще одного канала через Панамский перешеек;
- строительство огромной гавани на побережье Аляски и т. д.

США провели 20 экспериментальных подземных ядерных взрывов, в том числе 7 испытаний опытных промышленных ядерных зарядов (ОПЗ).

Хронология первых испытаний представлена в табл. 8.2.

Одно из первых направлений обширной советской Программы подземных ядерных взрывов в промышленных целях было связано с решением такой важной проблемы, как обеспечение водой засушливых территорий южных регионов бывшего СССР – районов ряда областей Казахстана, реки которых отличались непостоянным стоком, что существенно затрудняло ведение сельскохозяйственного производства.

Таблица 8.2

*Первые мирные ядерные взрывы в США и СССР*

Страна, название эксперимента, место проведения	Дата проведения	Мощность, кт	Условия проведения	Результат
США, «Gnome», Карсбад, Нью-Мексико	10 декабря 1961 г.	3	Скважина, 360 м	Камуфлетная полость в соляном массиве вскрыта для исследований
США, «Sedan», Невадский полигон	6 июля 1962 г.	104	Скважина, 193 м	Огромная воронка, сухая, глубина ~98 м
США, «Anacostia», Невадский полигон	27 ноября 1962 г.	~5	Скважина, 228 м	Отработка ОПЗ
США, «Kaweach», Невадский полигон	21 февраля 1963 г.	~12	Скважина, 227 м	Отработка ОПЗ
США, «Tornillo», Невадский полигон	11 октября 1963 г.	~5	Скважина, 149 м	Отработка ОПЗ
США, «KlicKita», Невадский полигон	20 февраля 1964 г.	20...200	Скважина, 492 м	Отработка ОПЗ
США, «Ace», Невадский полигон	11 июня 1964 г.	<20	Скважина, 263 м	Отработка ОПЗ
США, «Dub», Невадский полигон	30 июня 1964 г.	<20	Скважина, 258 м	Отработка ОПЗ
США, «Par», Невадский полигон	9 октября 1964 г.	38	Скважина, 404 м	Наработка изотопов

Страна, название эксперимента, место проведения	Дата проведения	Мощность, кт	Условия проведения	Результат
СССР, «Б», Новоземельский полигон	25 октября 1964 г.	0,001...20	Штольня	Отработка ОПЗ
США, «Handcar», Невадский полигон	6 ноября 1964 г.	12	Скважина, 403 м	Изучение удержания продуктов взрыва
СССР, «3-5», Семипалатинский полигон	16 ноября 1964 г.	20...150	Штольня	Отработка ОПЗ
США, «Salky», Невадский полигон	18 декабря 1964 г.	0,092	Скважина, 27,5 м	Образование навала породы
СССР, «Чаган», Семипалатинский полигон	15 января 1965 г.	140	Скважина 178 м	Огромная воронка-водоем, глубина ~100 м
СССР, «Буган-1,2», Башкирская АССР, Грачевское нефтяное месторождение	30 марта 1965 г.	2×2,3	Скважина, 1 341 м и 1 375 м	Интенсификация добычи нефти
США, «Palanquin», Невадский полигон	14 апреля 1965 г.	4,3	Скважина, 85 м	Эксперимент на выброс
СССР, «Буган-3», Башкирская АССР, Грачевское нефтяное месторождение	10 июня 1965 г.	7,6	Скважина, 1350 м	Интенсификация добычи нефти

Первый опытно-промышленный эксперимент в интересах получения информации о возможности использования подземных ядерных взрывов для образования воронок-водохранилищ был проведен 15 января 1965 г. на территории Семипалатинского испытательного полигона в урочище Балапан, в месте слияния рек Чаган и Ащи-Су. Этот взрыв положил начало всей комплексной программе подземных ядерных взрывов в мирных целях, завершившейся 6 сентября 1988 г.

Как известно, программа была сформирована по нескольким направлениям:

- глубинное сейсмическое зондирование земной коры для выявления геологических структур, перспективных для поиска полезных ископаемых (проведено 39 взрывов);

- создание подземных емкостей и хранилищ (42);
- интенсификация добычи нефти и газа (21);
- экскавационные эксперименты (6);
- ликвидация аварийных газовых фонтанов (5);
- образование провальных воронок (3);
- захоронение жидких токсичных отходов (2);
- дробление руды (2);
- предупреждение внезапных выбросов угольной пыли и метана (1);
- создание плотины-хвостохранилища путем рыхления породы (1).

Всего по программе мирного применения подземных ядерных взрывов на территории Советского Союза было проведено 124 эксперимента. Из них 39 – в Казахстане (причем 7 – на Семипалатинском полигоне), по 2 эксперимента в Украине и в Узбекистане, 1 – в Туркмении. Остальные эксперименты (80) проводились на территории Российской Федерации.

Результаты по каждому из 124 экспериментов (8 из них являлись групповыми, когда подрывалось по 2...3 ядерных заряда) еще ждут своей публикации. Отметим, что оценка технико-экономической эффективности экспериментов была выполнена лишь для тех направлений работ с помощью подземных ядерных взрывов, которые приобрели характер промышленных технологий. Это относится к глубинному сейсмическому зондированию, созданию подземных хранилищ, ликвидации аварийных газовых фонтанов, захоронению вредных промышленных стоков в глубокие подземные горизонты, поглощающая способность которых была увеличена с помощью ядерных взрывов, и в некоторой степени – к экспериментам по интенсификации добычи нефти. Можно утверждать, что обширная программа из 124 экспериментов по применению подземных ядерных взрывов в мирных целях, которая была реализована в Советском Союзе в течение 23 лет, выявила, по крайней мере в условиях нашей страны, несколько перспективных направлений. Их высокая результативность не вызывает сомнений. К числу таких направлений в первую очередь следует отнести глубинное сейсмическое зондирование, создание подземных емкостей и хранилищ, а также экскавационные эксперименты. А теперь рассмотрим некоторые направления более подробно.

Наибольшее количество ядерных взрывов в мирных целях (39) приходится на программу **глубинного сейсмического зондирования**. В ее рамках было отработано 14 геофизических профилей (общая протяженность – 70 тыс. км), которые охватили большую площадь Сибири, Казахстана и даже часть европейской территории России. Такой размах работ объясняется тем фактом, что к началу их проведения геофизический метод глубинного сейсмического зондирования с использованием

химической взрывчатки уже был отработан, широко известен и имел достаточно строгое обоснование.

Применение подземных ядерных взрывов в качестве мощных и компактных (практически точечных) источников сейсмического сигнала резко увеличивало производительность подобных работ, существенно ускоряя и удешевляя их. В самом деле, сейсмическая информация от каждого ядерного взрыва на профиле регистрировалась сейсмоприемниками, которые устанавливались на протяжении всего профиля с определенным интервалом друг от друга и дистанционно включались на момент работы. Таким образом, тысячекилометровые геофизические профили оказалось возможным отрабатывать в результате всего двух, трех или четырех подземных ядерных взрывов. С 1971 по 1988 гг. «Комплексная программа Мингео» была выполнена (хотя и не полностью) с помощью 39 ядерных взрывов путем прохождения 14 региональных геофизических профилей общей протяженностью более 70 тыс. км. Эти профили покрыли огромные и, в основном, геологически недостаточно изученные территории СССР – Север европейской части страны, Среднюю Азию и регионы Западной и Восточной Сибири.

Результаты глубинного сейсмического зондирования подробно освещались в отчетах по каждому отработанному профилю. Они приводились в официальных докладах на правительственном уровне, а также в ходе парламентских слушаний в Госдуме Российской Федерации в 1997 г. В статье министр геологии СССР А.К. Козловский писал, что новая технология может «содействовать ускорению развития работ по геологическому изучению территории страны, увеличению разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов, т. к. позволяет оценить перспективы основных регионов страны на различные виды ископаемых, определить оптимальное направление поисковых и геолого-разведочных работ».

На основе выполненных работ были составлены геолого-геофизические разрезы вдоль всех пройденных геотраверс и подготовлен комплект геолого-геофизических карт, характеризующих глубинное строение недр вплоть до фундамента осадочного чехла и границы Мохоровичича. Анализ полученных материалов позволил составить схему рельефа поверхности фундамента и подошвы промежуточного комплекса пород на всей исследованной территории. Было уточнено положение рифтовых структур, контролирующих перспективные области углеводородосодержания, и произведено тектоническое районирование обследованной территории. По мнению руководителей тогдашнего Министерства геологии СССР, выполненная программа исследований не имеет аналогов в мире и по своему научному и практическому значению вполне сопоставима с космической программой.

Полученный огромный объем сейсмической информации образовал своеобразный фонд для построения геологических разрезов, выявления перспективных площадей на нефть, газ и другие полезные ископаемые, стал основой для рекомендаций по целевому разведочному бурению. Эти эксперименты подтвердили, в частности, существование около 20 газовых и газоконденсатных месторождений.

Достоинством метода глубинного сейсмического зондирования с применением подземных ядерных взрывов являлось и то, что сами взрывы (их мощность составляла от 2,3 до 22 кт) выполнялись в безлюдных районах страны и на большой глубине (от 400 до 1 000 м). Эффективность глубинного сейсмического зондирования, по оценке геологов, составила (в ценах 1984 г.) около 180 млн руб.

Одной из самых результативных технологий по использованию подземных ядерных взрывов в мирных целях стало создание в СССР **искусственных полостей** в массивах каменной соли и **емкостей** в других породах.

Интенсивное развитие газовой нефтяной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности потребовало расширения в стране резервуарного парка. Недостаток емкостей особенно остро сказался в 60-е годы, когда началось освоение крупных газоконденсатных месторождений. Резервуарные парки необходимо было создавать непосредственно на промыслах, вблизи газопроводов, промышленных и гражданских объектов.

Существующие традиционные способы строительства резервуаров не позволяли быстро удовлетворять растущий спрос на емкости высокого давления. Строительство наземных стальных резервуаров требовало большого количества металла при высокой стоимости строительно-монтажных работ, связанных с необходимостью отвода больших площадей для их размещения и дорогостоящими мероприятиями по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности. Шахтный способ создания подземных емкостей требует значительных капитальных затрат и времени для их сооружения. Метод размыва камер в отложениях каменной соли имеет ограниченные возможности из-за большой продолжительности процесса сооружения и необходимости перевода больших объемов пресной воды в биологически вредные рассолы, которые подлежат захоронению.

Метод создания подземных емкостей в отложениях каменной соли с помощью подземных ядерных взрывов позволяет иметь на глубинах до 1000 м устойчивые полости объемом более 60 тыс. м<sup>3</sup> с меньшими затратами и в сравнительно короткие сроки с обеспечением сейсмической и экологической безопасности.

Благодаря новому методу был обеспечен своевременный пуск Астраханского газохимического комплекса за счет использования 9 резер-



вуаров для складирования газоконденсатной смеси с целью разгрузки технологических линий для ускоренного получения серы, товарного газа и горючего.

В эксплуатацию были введены также четыре емкости на Карачаганакском газоконденсатном комплексе с использованием их в технологических целях для хранения конденсата и частичной сепарации природного газа.

Созданные в Советском Союзе в отложениях каменной соли подземные емкости вполне пригодны в качестве резервуаров для хранения нефти и газа, а также для захоронения вредных химических веществ и высокорadioактивных жидких отходов. Два резервуара, созданные под Оренбургом, эксплуатируются в течение многих лет в качестве хранилищ газоконденсата. Это позволило предотвратить безвозвратные потери свыше двух миллионов тонн этого ценного сырья.

Только на площадке «Галит» было создано 9 полостей общим объемом примерно 1200 тыс. кубометров. Пять из них были залиты водой во время проведения исследовательских работ, а четыре другие, общим объемом около 600 тыс. м<sup>3</sup>, образованные на глубине до 1 000 м, остаются сухими и устойчивыми, то есть хорошо сохраняются. Еще шесть маломощных взрывов в емкости А-II начиная с 25 апреля 1975 г. были осуществлены для отработки методики извлечения продуктов взрывов.

Еще одним направлением использования ядерных взрывных технологий являлось **подземное захоронение промышленных стоков** через укрупненные нагнетательные скважины. Прототипом данной технологии является захоронение промстоков, трудно поддающихся современным способам очистки, через обычные буровые скважины. Этот способ в последние годы достаточно широко используется в нашей стране и за рубежом. Однако он обладает существенными недостатками, которые значительно ограничивают его технологические возможности: низкая приемистость скважин, высокая чувствительность к содержанию взвешенных частиц в промстоках, невозможность захоронения промстоков, химически несовместимых с пластовыми водами, и др.

Сущность новой технологии заключается в использовании подземных ядерных взрывов для обработки пласта-коллектора и в подборе эффективного режима закачки промстоков в зону взрыва. Разработанная технология внедрена и успешно реализуется на объектах:

- «Кама-2» для захоронения промышленных стоков Стерлитамакского ОАО «Сода» (с 1976 г.);
- «Кама-1» для захоронения промышленных стоков ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» (с 1982 г.).

Всего на объекте «Кама-2» захоронено свыше 30 млн м<sup>3</sup> промстоков, а на объекте «Кама-1» – около 1,5 млн м<sup>3</sup>, что в соответствии с типовой методикой определения эффективности осуществления природоохранных мероприятий позволило предотвратить за счет захоронения промстоков нанесение ущерба окружающей среде на объекте «Кама-2» на сумму 84 млн руб. и на объекте «Кама-1» – 150 млн руб. при капитальных затратах на сооружение объектов, соответственно, 10 и 9 млн руб. (в ценах 1984 г.).

Как показывает практика нефтедобычи, из хорошо проницаемых продуктивных пластов существующими традиционными способами извлекается только около 40 % содержащейся в них нефти, а из низкопроницаемых пластов – 10, максимум 15 %.

**Интенсификация добычи нефти и газа.** Одним из основных способов повышения коэффициента извлечения нефти, применяемых в нефтяной промышленности, является использование различных модификаций заводнения нефтенасыщенных пластов. В последнее время применяется закачка углеводородного газа под высоким давлением. Таким методом осуществляется вытеснение нефти из пласта к забоям добывающих скважин.

Используются также тепловые и физико-химические способы воздействия на залежи с тяжелой и высоковязкой нефтью. Но подобные методы успешно применяются только при разработке таких месторождений, залежи нефти в которых приурочены к коллекторам с высокими фильтрационными свойствами. Однако существует немало месторождений, где нефть сосредоточена в низкопроницаемых коллекторах или в изолированных продуктивных пластах и линзах, отделенных друг от друга непроницаемыми перегородками. Продавить нефть через них с помощью воды, пара или газа практически невозможно. Ставить же буровую на каждую линзу или изолированный пласт экономически нецелесообразно. По этой причине значительное количество нефтяных месторождений вообще не вводится в промышленную разработку.

Идея воспользоваться мощным воздействием на нефтяное месторождение путем использования подземного ядерного взрыва сразу показалась многообещающей. Естественно было ожидать, что в результате такого взрыва непроницаемые перегородки между отдельными изолированными пластами и линзами нарушатся и что в нефтеносном пласте, наряду с большой зоной раздробленной породы, возникнет еще и обширная по объему область микротрещин. Все это должно привести к улучшению фильтрационных свойств среды и одновременно к снижению вязкости нефти за счет теплового воздействия взрыва как на массив, так и на саму нефть.

Закачивая после этого в пласт воду, пар или газ с улучшившимися условиями для вытеснения нефти к забоям эксплуатационных скважин, можно было рассчитывать, что отныне станет реальностью не только эффективная добыча нефти из разведанных низкопроницаемых коллекторов, но и отбор таких тяжелых и высоковязких ее форм, которые прежде вообще не поддавались извлечению. Ожидалось также, что столь мощное, комплексное воздействие на нефтяное месторождение с помощью подземного ядерного взрыва с последующей закачкой в пласт воды, газа или пара интенсифицирует добычу нефти и существенно увеличит коэффициент ее извлечения из продуктивного пласта. А ведь дополнительный отбор нефти из пласта новым способом на уже разрабатываемых или отработанных и обустроенных месторождениях даже на 5...10 % оказался бы в масштабах всей страны равноценным вводу в эксплуатацию новых месторождений и позволил бы значительно сократить капитальные затраты на обустройство новых месторождений в труднодоступных районах страны.

Для опробования новой идеи комплексного воздействия на нефтяные пласты были проведены подземные ядерные взрывы на четырех нефтяных месторождениях, различающихся типом и составом коллектора, выработанностью залежей и системой их разработки.

Первые три мирных подземных ядерных взрыва были проведены с этой целью в 1965 г. на Грачевском нефтяном месторождении (Башкортостан), приуроченном к рифовому массиву. Оно находилось в эксплуатации с 1958 г. без поддержания пластового давления. К тому времени из месторождения было добыто уже 2 080 тыс. т нефти, то есть более половины из так называемых установленных извлекаемых запасов в 3 980 тыс. т. Данная величина была утверждена для Грачевского месторождения Центральной комиссией Миннефтепрома по запасам и составляла 27,2 % от начального геологического ресурса месторождения. При этом за время эксплуатации к 1965 г. пластовое давление, как оказалось, снизилось с 14,7 до 4,4 МПа (мегапаскаль). Спустя 15 лет, в 1980 г., для подготовки этого месторождения под закачку в пласт газа высокого давления было проведено еще два подземных ядерных взрыва. К тому времени пластовое давление снизилось до 1,4 МПа, а из залежи уже было добыто 3 300 тыс. т нефти, что составило около 22,5 % от начальных геологических запасов месторождения. Иначе говоря, при утвержденном коэффициенте нефтеотдачи, равном 27,2 %, оставшиеся извлекаемые запасы составляли всего 680 тыс. т.

В 1982 г. для оценки влияния ядерных взрывов на эффективность разработки Грачевского месторождения была создана специальная комиссия Миннефтепрома. В ее состав вошли ведущие специалисты неф-

тяной промышленности, Минсредмаша и Минвуза СССР. Согласно заключению комиссии, эксперимент, проведенный в 1965 г., показал, что:

- 1) существует принципиальная возможность и эффективность проведения ядерных взрывов на действующих промыслах;
- 2) суммарная дополнительная добыча нефти за счет использования подземных ядерных взрывов, определенная различными способами, составила 150...300 тыс. т, то есть 5...10 % от суммарной добычи нефти с начала разработки и 12...24 % – с момента проведения ядерных взрывов;
- 3) воздействием взрывов было охвачено 42,5 % площади месторождения, где образовалась зона улучшенной проводимости. По 15 из 40 пробуренных добывающих скважин производительность заметно увеличилась и почти в три раза замедлился темп естественного падения добычи нефти. В целом по залежам замедлился темп падения пластового давления.

Для более полного вытеснения нефти из пласта и опробования технологии комплексного воздействия на залежь в 1985 г. была начата закачка в пласт газа под высоким давлением. Перед этим, используя терминологию газовиков и нефтяников, в пласт было закачано 370 тыс. т «широкой фракции легких углеводородов». Суммарный объем закачанного в пласт газа составил 750 млн м<sup>3</sup>. При этом месячная добыча нефти в целом по залежи увеличилась с 0,8...1,0 тыс. т до 5,2 тыс. т, а средний дебит одной скважины возрос с 0,8 т в сутки до 4,8 т. По некоторым скважинам, находящимся в зоне влияния взрывов, среднесуточный дебит нефти увеличился до 30...45 т. Одновременно среднее пластовое давление в залежи возросло с 1,4 до 4,0 МПа. В результате коэффициент извлечения нефти достиг более 40 % (вместо утвержденного 27,2 %). Разработка месторождения продолжается до сих пор.

На другом объекте, Осинском нефтяном месторождении в Пермской области, приуроченном к неоднородным карбонатным коллекторам, была опробована технология комплексного воздействия на залежь в условиях внутриконтурного заводнения. На четвертом году эксплуатации месторождения, в 1969 г., были проведены два подземных ядерных взрыва.

Эти взрывы осуществлены в водонасыщенной части разреза на несколько десятков метров ниже нефтяной залежи. По заключению комиссии Миннефтепрома, данному в 1987 г., коэффициент продуктивности по семи добывающим скважинам, расположенным на опытном участке площадью в 200 га, увеличился за счет комплексного воздействия на пласт в среднем на 50 %. Добычи нефти по этим скважинам увеличились с 32 м<sup>3</sup> до 48 м<sup>3</sup> в сутки. Дополнительная добыча нефти на опытном участке за счет комплексного воздействия

оценивается в 300...500 тыс. т. На третьем, Средне-Балыкском нефтяном месторождении в Тюменской области, разработка которого осуществляется с закачкой в пласт воды, подземный ядерный взрыв был осуществлен в 1985 г.

Проведенные исследования показали, что на данном месторождении положительное воздействие ядерного взрыва распространилось и на вышезалегающий продуктивный пласт. Суммарная дополнительная добыча нефти за 9 месяцев из основной залежи, в которой проводился взрыв, и вышезалегающего пласта составила, по заключению специалистов Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина, около 19 тыс. т. Дебиты нефти из скважин, расположенных на опытном участке, возросли, и увеличилась нефтеотдача продуктивных песчаных пластов. По 6 скважинам коэффициент продуктивности увеличился на 12...30 %. Воздействием взрыва было охвачено около 300 га.

Однако дальнейшие опытно-промышленные работы на этом месторождении с намечавшейся новой серией подземных взрывов и с последующей закачкой воды через восстановленные скважины так и не были претворены в жизнь по ряду организационно-технических причин. Четвертое, Гежское нефтяное месторождение в Пермской области, приурочено к мощному карбонатному резервуару, для которого характерно линзовидное строение и переслаивание плотных и проницаемых пластов. Коллекторы, содержащие нефть, группируются в отдельные проницаемые зоны, неравномерно распределенные как по разрезу, так и по площади месторождения. Для того чтобы на Гежском месторождении можно было эффективно применить такие традиционные способы, как закачка в пласт воды, пара или газа, необходимо было искусственно создать каналы, соединяющие эти зоны в единую гидродинамическую систему. Эта задача возлагалась на пять подземных ядерных взрывов одинаковой мощности (по 3,2 кт), которые параллельно с этим должны были создать широко разветвленную сеть микротрещиноватости. Взрывы были проведены в период с 1981 г. по 1987 г. В проекте в качестве вытесняющего агента (после взрывов) был предложен газ высокого давления, который должен был закачиваться в сводовую часть залежи, а отбор нефти предполагалось производить из нижней части залежи. Согласно проведенным специалистами Миннефтепрома расчетам, за счет такого комплексного воздействия на залежь предполагалось добыть дополнительно более 5 млн т нефти. При этом коэффициент извлечения нефти мог возрасти с 0,062 до 0,22. Закачку газа на этом месторождении планировалось начать в 1993 г., но данная программа так и не была осуществлена. По заключению специалистов ВНИИнефть, суммарная дополнительная добыча нефти за счет проведенных подзем-

ных ядерных взрывов только по трем наиболее высокодебитным скважинам на Гежском нефтяном месторождении превышает 37 тыс. т, что составляет 16 % от общей добычи месторождения.

Анализ итогов опытно-промышленных работ, проведенных на нефтяных месторождениях, показал, что подземные ядерные взрывы действительно могут успешно применяться в комплексе с обычными методами воздействия на пласт при разработке залежей нефти, приуроченных к низкопроницаемым коллекторам, из которых обычными методами нефть не извлекается. Этот метод эффективен также для разработки залежей нефти с тяжелыми и высоковязкими ее формами, для вовлечения в повторную разработку полностью обводненных нефтяных залежей, эксплуатация которых была уже завершена. Здесь положительный эффект достигается за счет создания условий для вертикальной, внутрирезервуарной миграции нефти, что способствует образованию как бы новой вторичной залежи, разработка которой может быть продолжена существующей сеткой скважин.

Например, в 70–80-х годах прошлого века затраты на проведение поисковых и разведочных работ составили 3 982 087 рублей, а на каротаж, являющийся методом ядерной физики, – 13 270 рублей.

Угольные пласты в вечной мерзлоте (Нерчуганское месторождение), угли переходные от тощих к антрацитам (Донбасс) обычно не выделяются, и тут ядерная физика приходит на помощь промышленности. Мирные ядерные взрывы помогают при бурении скважин для добычи нефти и газа, залегающих в глубоких слоях.

С помощью ядерных взрывов в нашей стране успешно проводили геофизическую и сейсморазведку, повысили быстроту добычи нефти и газа, а также построили в толще соляных месторождений огромные сферические емкости для их хранения.

Слежавшись в недрах земли миллионы лет, нефть имеет свойство густеть. Самые мощные насосы здесь бессильны. Так, 30...40 % нефти осталось бы в недрах земли. С помощью мирного ядерного взрыва слежавшаяся нефть при помощи мощнейшей ударной волны получила встряску, пласты земли при этом сжались и повысили давление в нефтяном месторождении, в итоге нефть поддалась откачке. Применяя ядерные взрывы для встряски загустевшей нефти, добились фонтанирования двух скважин в Пермской области.

Мирные взрывы успешно использовали и на Кольском полуострове в апатитовых рудниках для дробления руды.

Четверть века назад ученые получили задание исследовать возможность дегазации угольных пластов, в которых содержался высокий процент растворенного метана: при некоторых условиях он начинает быстро испаряться и скапливаться в свободных местах угольного ме-

сторождения, т. е. в угольных шахтах, что создает угрозу жизни шахтеров. В шахтах украинского города Енакиево (трест «Орджоникидзеуголь») в год погибало до 100 человек от выбросов метана. Применяв маломощный ядерный взрыв и встряхнув пласты угля, атомщики заставили метан уйти, тем самым предотвратив гибель сотен шахтеров. Шахта была застрахована на многие годы от выбросов.

Наконец, подземные ядерные взрывы могут быть применены при разработке битуминозно-глинистых отложений баженовской свиты, запасы нефти в которых на территории Западной Сибири исчисляются сотнями миллионов тонн. Обычные условия эксплуатации таких месторождений характеризуются крайне низким коэффициентом нефтеотдачи, и ни один из существующих в настоящее время способов не дает надежного положительного эффекта при разработке подобных отложений.

Дальнейшее изучение процессов, происходящих в продуктивном пласте после ядерного стимулирования, не только имеет большое практическое, но и сохраняет научное значение. Оно позволяет заложить основы для обоснования использования обычных взрывчатых веществ при комплексной разработке различных типов нефтяных месторождений.

В этом случае вместо ядерного взрыва предполагается одновременно производить взрывы обычных взрывчатых веществ сразу в нескольких добывающих скважинах, расположенных по специальной сетке.

Большие надежды в советской программе мирного применения подземных ядерных взрывов возлагались на использование их для **создания искусственных водоемов, плотин и прокладки каналов**. С этой целью, например, на реке Чаган был проведен специальный эксперимент. За счет перекрытия русла реки насыпной плотиной было создано искусственное водохранилище в виде двух водоемов: внутреннего (образовалась воронка выброса глубиной около 90 м, средним диаметром по уровню первоначальной поверхности около 400 м, высотой навала, окружающего воронку, около 20 м и объемом около 7 млн м<sup>3</sup>) и внешнего, в полтора раза большего по объему.

Мощность взрыва составила 140 кт. Водоем, получивший название Атом-Куль (Атомное озеро), существует до сих пор. Вода в нем пригодна для питья, более того, в нем прижилась и успешно размножается рыба, которую запустили в озеро из других природных водоемов.

В качестве другого примера можно указать на одновременный взрыв трех ядерных зарядов малой мощности, в результате которого была образована траншея канального профиля объемом 77 тыс. м<sup>3</sup>, длиной 142 м и шириной 61...69 м. Высота земляного вала по бортам траншеи составила 9...16 м.

Известно применение подземных ядерных взрывов в СССР для ликвидации *мощных аварийных газовых фонтанов*.

1 декабря 1963 г. в Узбекистане на Урта-Булакском месторождении возник газовый фонтан высотой 70 м. В сутки сгорало 18 млн м<sup>3</sup> газа, что угрожало загрязнением атмосферы, образованием озоновых дыр, отравлением людей и животных. Фонтан горел свыше трех лет. За один год сгорало столько газа, что его хватило бы для снабжения такого промышленного центра, как Ростов-на-Дону, или восьми таких городов, как Волгодонск. Физики-ядерщики создали ядерный заряд, пробурили скважину, опустили в нее заряд 30 кт и взорвали. Скважина была перекрыта на глубине 1,5 км, и газовый фонтан потух.

На фонтанах «Памук» и «Кратер» среднесуточная потеря газа составила – 1 млн м<sup>3</sup> и 700 тыс. м<sup>3</sup>. За время аварийного выброса на каждом из этих фонтанов бесполезно сгорело, соответственно, 15,4; 1,36; 0,85 млрд м<sup>3</sup> газа, то есть в сумме около 17,6 млрд м<sup>3</sup>. Экономический эффект от использования нового метода гашения оценивался в ценах до 1971 г.: для «Урта-Булака» – в сумме 25,4 млн руб., «Памука» – 4 млн руб. и «Кратера» – 2,75 млн руб.

Впервые **задача дробления больших масс горных пород** с помощью подземных ядерных взрывов была детально рассмотрена в СССР сотрудником Арзамаса-16 Д.А. Франк-Каменецким еще в 1950 г. Успешные эксперименты по применению подземных ядерных взрывов для дробления руды были проведены на апатитовом месторождении на Кольском полуострове. Одиноким взрывом в 1972 г. был раздроблен блок размером 50×50×50 м, а групповым взрывом двух зарядов в 1984 г. был подвергнут дроблению блок размером 50×125×90 м. Для отвода и герметизации радиоактивных продуктов взрыва была выполнена специальная горизонтальная выработка, что исключило загрязнение раздробленной руды.

Всего тремя ядерными взрывами было раздроблено 1 550 тыс. т руды, причем качество дробления оказалось выше, чем с использованием обычной технологии. Концентрация радиоактивных продуктов в зоне дробления не превысила допустимых величин: по стронцию-90 она оказалась менее 2 Бк/кг, а по цезию-137 – менее 5 Бк/кг.

Рассмотрим кратко возможность использования ядерно-взрывных технологий для решения глобальных экологических проблем современной цивилизации.

С 1990 по 1992 гг. в ВНИИ ЭФ был выполнен значительный объем исследований, который показал принципиальную возможность уничтожения химически токсичных материалов.

Весь объем, производимый химической отраслью СССР (40 тыс. т), мог быть уничтожен при использовании ядерного взрыва в течение



примерно 10 лет и при затратах в 10 раз меньших по сравнению с заводскими технологиями.

Ядерно-взрывная технология может использоваться для переработки высокоактивных отходов, полученных с АЭС, и тем самым исключить дорогостоящий и потенциально опасный цикл радиохимической переработки. Удельная закладка полной массы таких радиоактивных материалов составляет 70 т/кВт мощности ядерного взрыва и соответствует массе грунта, испаряемого обычно в подземном ядерном взрыве.

Успешное претворение в жизнь многолетней советской программы подземных ядерных взрывов в мирных целях привело к двум главным результатам: были проверены основные идеи и ожидания этой программы и заложен фундамент ядерно-взрывных технологий.

Ученые доказали: новое сверхразрушительное оружие, как уже не раз случалось в ходе эволюции и взаимного переплетения «военных» и «мирных» разработок, может рассматриваться и как огромной мощи компактное, чрезвычайно эффективное средство для разнообразных «мирных» применений с пользой для человека.

В эпоху «холодной войны» люди устали жить под страхом ядерной катастрофы. Человечество видело в ядерной взрывчатке только губительное начало, которое затмило ее потенциальные созидательные возможности. Избавление от угрозы глобального уничтожения, полное запрещение испытаний ядерного оружия стало настоятельной необходимостью.

Чтобы упростить трудный путь к заключению договора о полном запрещении ядерных испытаний, программа подземных ядерных взрывов в мирных целях была принесена в жертву. Действительно, при отсутствии международного контроля за проведением мирных ядерных экспериментов и особенно за конструкциями используемых для этого зарядов (а именно такова была практика) сохраняется опасность того, что в условиях договора о запрещении испытаний та или иная сторона попытается под прикрытием «мирных» взрывов продолжить тайное совершенствование ядерного оружия. В этом случае такие взрывы превратились бы в разновидность полигонных испытаний новых зарядов.

Сейчас, в условиях действия Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, подземные взрывы в мирных целях, естественно, невозможны. Более того, с учетом общественного мнения, сложившегося под влиянием аварий на объектах ядерной энергетики, и прежде всего чернобыльской катастрофы, не имеет шансов быть реанимированной даже сама идея обращения к ядерно-взрывным технологиям. Положение усугубляется еще и тем, что ядерно-взрывные технологии были засекречены и о них мало известно. Критики с ходу их отвергают, даже не интересуясь тем, что эти технологии на самом деле могут ока-

заться весьма полезными. Между тем положительный потенциал подземных ядерных взрывов в мирных целях для ряда направлений, упомянутых выше, является бесспорным. И не только в условиях бескрайних просторов России они могли бы найти дальнейшее эффективное применение. Изучение внутреннего строения Земли, ее защита от катастрофических столкновений с массивными космическими объектами, выявление геологических структур в земной коре под океанскими глубинами, перспективных на поиск месторождений полезных ископаемых, и другие направления работ – таким может быть в будущем применение ядерно-взрывных технологий.

Уникальный опыт использования подземных ядерных взрывов в мирных целях, накопленный в России и Соединенных Штатах, не должен быть утрачен.

Человечеству не свойственно отказываться от достижений научно-технического прогресса, – всего того, что приносит ему благо.

В заключение следует подчеркнуть, что использование как техники, так и технологии должно базироваться на трех основных принципах: экономическая целесообразность, техническая возможность и экологическая безопасность. Вероятно, что ядерно-взрывная технология, прошедшая захватывающий путь от взлета до вынужденного отказа от этого многообещающего направления, будет в будущем востребована.

## 9. РАДИАЦИОННЫЙ ТЕРРОРИЗМ [1, 2, 11–16]

Радиационный терроризм основан на угрозе использования радиоактивных материалов (РМ) для нанесения физического и/или экономического ущерба за счет их способности испускать ионизирующее излучение, которое в значительных дозах опасно для здоровья людей, в целях принуждения человека или группы лиц совершить то или иное действие, выгодное организаторам.

Все радиоактивные материалы (в том числе и делящиеся) в процессе распада испускают излучения различного вида: нейтронное, гамма-, бета- и альфа-излучение. Нейтронное и гамма-излучение относятся к так называемым «проникающим», поскольку они достаточно легко проходят через различные материалы. Соответственно, для грузов, испускающих эти виды излучений, требуется специальная, конструктивная защита, которая позволит обеспечить радиационную безопасность при их транспортировке. Но вследствие своих способностей именно эти виды излучений можно использовать в качестве индикатора наличия РМ в перемещаемых товарах и транспортных средствах.

Бета-излучение полностью поглощается любым металлом толщиной 2...3 мм, а альфа-излучение – даже слоем обычной бумаги. Поэтому они практически непригодны для обнаружения РМ, хотя соответствующие радионуклиды представляют значительную радиационную опасность при попадании внутрь организма человека. Следовательно, при выполнении контроля РМ необходимо измерять поверхностное загрязнение упаковки.

Большинство радионуклидов испускает гамма-излучение, причем регистрация его наиболее проста и информативна. Энергетический спектр гамма-излучения имеет линейчатую структуру – набор отдельных гамма линий. Он уникален для каждого радионуклида и может служить своеобразным «паспортом». Используя гамма-спектрометры, наличие того или иного радионуклида в составе товаров и транспортных средств определяется без вскрытия упаковки.

Нейтронное излучение является, как правило, результатом спонтанного деления делящихся материалов либо сложных реакций на легких ядрах, требующих мощного источника альфа-излучения, которым могут быть, в частности, тяжелые ядра большинства изотопов U, Pu и других трансурановых элементов. Наличие нейтронного излучения

служит серьезным основанием для подозрения о наличии в перевозимом грузе делящихся материалов.

Попадание источников ионизирующего излучения в сферу жизнедеятельности человека таит в себе серьезную угрозу его здоровью. Радиоактивные материалы не могут быть обнаружены органами чувств и проявляют себя уже по признакам болезни. Такие свойства радиоактивного излучения и его источников позволяют использовать их в качестве специфического оружия терроризма. Сегодня спецслужбы обратили на этот вид терроризма особое внимание. Прежде всего потому, что при профессиональном подходе преступников почти невозможно установить причину смерти человека, ставшего жертвой террора. Радиоактивное излучение при определенных дозах не вызывает лучевую болезнь, признаки которой распознаваемы, а инициирует возникновение «обычных» злокачественных образований. Но возникающая опухоль может быть следствием большого числа причин, и по ее виду и характеру невозможно установить истинную. Кроме того, благодаря миниатюрности источник излучения легко закамуфлировать – он без всякого труда может быть размещен под крышкой письменного стола, на ковре, в кресле, сидении автомобиля. Именно по этой причине в настоящее время во многих странах устанавливаются специальные системы радиационного контроля в государственных учреждениях и частных компаниях.

Бытующее в обществе представление об атомной энергии, радиации по-прежнему окутано мифами и страхами, которые абсолютно не соответствуют фактическому положению дел, и опираются, в основном, исключительно на чувства и эмоции. Это приводит, с одной стороны, к радиофобии (страх перед радиацией), а с другой – к безответственному поведению. Такое положение дел является питательной средой психологического терроризма в сочетании с угрозой терроризма радиационного. Врачи-психологи считают, радиофобия заразна, и умело ей манипулируя, можно нанести вред здоровью людей. Без овладения широкими массами минимальной суммы знаний о ядерных технологиях, радиоактивности общество неизбежно будет сталкиваться с провокациями.

### **9.1. Радиация и ее воздействие на живой организм**

Неверным, по крайней мере в своем абсолютном выражении, является положение, будто ядерная энергия «не от Бога», что она противоестественна, что человек и все живое в своем развитии не обрели защитных инстинктов против радиоактивности.

Радиация не является каким-либо новым фактором воздействия на живые организмы, подобно многим химическим веществам, созданным человеком и ранее не существовавшим в природе.

Другими словами, мы живем в условиях радиации, организм к ней адаптировался, а по убеждению ряда ученых, именно радиация является источником генных мутаций, лежащих в основе развития всего живого.

Введем некоторые термины и определения радиации.

**Радиация** – это один из многих естественных факторов окружающей среды. Естественный радиационный фон влияет на жизнедеятельность человека, как и другие факторы окружающей среды, с которыми организм находится в состоянии непрерывного обмена.

**Радиоактивный распад** – это процесс самопроизвольного распада неустойчивых ядер в другие ядра (в конечном итоге, стабильные).

**Радиация** – излучение энергии в виде частиц или электромагнитных волн. При превращениях (распадах) радиоактивных ядер возникают различные виды излучения: альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтроны, тяжелые ионы. При взаимодействии с веществом энергия излучения передается атомам и молекулам, превращая их в заряженные частицы-ионы. В результате ионизации разрываются химические связи молекул в живых организмах, и тем самым вызываются биологически важные (соматические и генетические) изменения. Процесс радиоактивного распада происходит с постоянной скоростью, присущей данному виду радиоактивных ядер (радионуклидов). Время, за которое распадается в среднем половина всех имеющихся радионуклидов, называется ПЕРИОДОМ ПОЛУРАСПАДА ( $T_{1/2}$ ). Хотя все радионуклиды нестабильны, одни из них более нестабильны, чем другие. Например, протактиний-234 распадается почти моментально ( $T_{1/2} = 1,17$  мин), а уран-238 – очень медленно (4,47 млрд лет). Количество распадающихся радионуклидов в единицу времени в веществе определяют термином АКТИВНОСТЬ. Единицы измерения активности радиоактивных веществ – кюри (Ки) и беккерель (Бк). Численному значению активности 1 Ки приблизительно соответствует активность 1 г радия в равновесии с продуктами его распада. За масштаб единицы 1 Бк принят 1 распад в секунду. Между единицами активности существует взаимосвязь: 1 Ки = 37 млрд Бк, 1 Бк = 1 расп./с.

Понятие активности ничего не говорит о виде радиоактивного излучения или о величине его энергии, а указывает лишь на число атомов, распадающихся в секунду. Более того, одинаковая активность различных радиоактивных веществ не подразумевает одну и ту же степень поражения биологических тканей. Разные виды излучений сопровождаются высвобождением разного количества энергии и обладают разной проникающей способностью, поэтому они оказывают не одинаковое воздействие на ткани живого организма. Количественную характери-

стику излучения, обычно называемую ДОЗОЙ, измеряют в величинах энергии, поглощенной тканями организма.

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА – количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого вещества. Единицы измерения поглощенной дозы – грей (Гр) и рад.  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г}$ ,  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ ,  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ . Существует также количественная характеристика поля ионизирующего излучения, основанная на величине ионизации сухого воздуха при атмосферном давлении. Единицей измерения является рентген (Р). Доза 1 Р соответствует примерно 1 млрд пар ионов в  $\text{см}^3$  воздуха. Доза 1 Р накапливается за 1 ч на расстоянии 1 м от источника радия массой 1 г, т. е. активностью примерно 1 Ки. В последнее время, в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), основными единицами измерения поглощенной и эквивалентной дозы, являются грей и зиверт, соответственно. В данной публикации мы воспользуемся специальными единицами рад и бэр, которые ранее широко использовались, более привычны и часто применяются на практике в настоящее время.

Отдельные виды излучений отличаются друг от друга различной способностью повреждать ткани организма. Равные поглощенные дозы не обязательно должны вызывать одинаковые биологические эффекты. Обычно при одинаковой величине поглощенной дозы рентгеновские лучи, гамма- и бета-излучение вызывают меньшие повреждения по сравнению с излучением тяжелых ядер. Нейтронное излучение занимает промежуточное положение. Поэтому при одной и той же поглощенной дозе радиобиологический эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением. Для количественной оценки этого влияния вводится «переводной» коэффициент, ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (ОБЭ) или КОЭФФИЦИЕНТ КАЧЕСТВА (КК) излучения.

ОБЭ или КК какого-либо излучения – численный коэффициент, который устанавливает некий эквивалент между различными видами излучений и равен отношению поглощенной дозы эталонного излучения (принято рентгеновское излучение с энергией 180...250 кэВ), вызывающей определенный радиобиологический эффект, к дозе рассматриваемого излучения, вызывающей тот же биологический эффект. Поэтому мерой биологического воздействия каждого вида радиационного облучения служит ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА, которая определяется как поглощенная доза, умноженная на коэффициент качества. Коэффициент качества ионизирующего излучения равен 1 для рентгеновского, бета- и гамма-излучения, 3...10 – для протонов и быстрых нейтронов, 20 – для альфа-частиц. Единицами измерения эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада) и зиверт (Зв). 1 Зв соответствует поглощенной

дозе в 1 Дж/кг (для рентгеновского, гамма- и бета-излучения),  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ ,  $1 \text{ бэр} = 10 \text{ мЗв}$ ,  $1 \text{ бэр} = 10^3 \text{ мбэр} = 10^6 \text{ мкбэр}$ .

Органы и ткани человека имеют разную чувствительность к облучению. Наиболее уязвимы красный костный мозг, гонады. Менее восприимчивы печень, щитовидная железа, мышцы и другие внутренние органы. Например, при одинаковой дозе облучения возникновение заболевания легких более вероятно, чем щитовидной железы, а облучение гонад опасно из-за возможности генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами, так называемыми коэффициентами радиационного риска для различных органов и тканей. Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав их по всем органам и тканям, получим ЭФФЕКТИВНУЮ ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ДОЗУ, отражающую суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в зивертах или бэрах. Эти понятия описывают индивидуальные дозы облучения. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные каждым человеком, определяют КОЛЛЕКТИВНУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ДОЗУ, которая измеряется в человеко-бэрах (чел·бэр) или человеко-зивертах (чел·Зв).

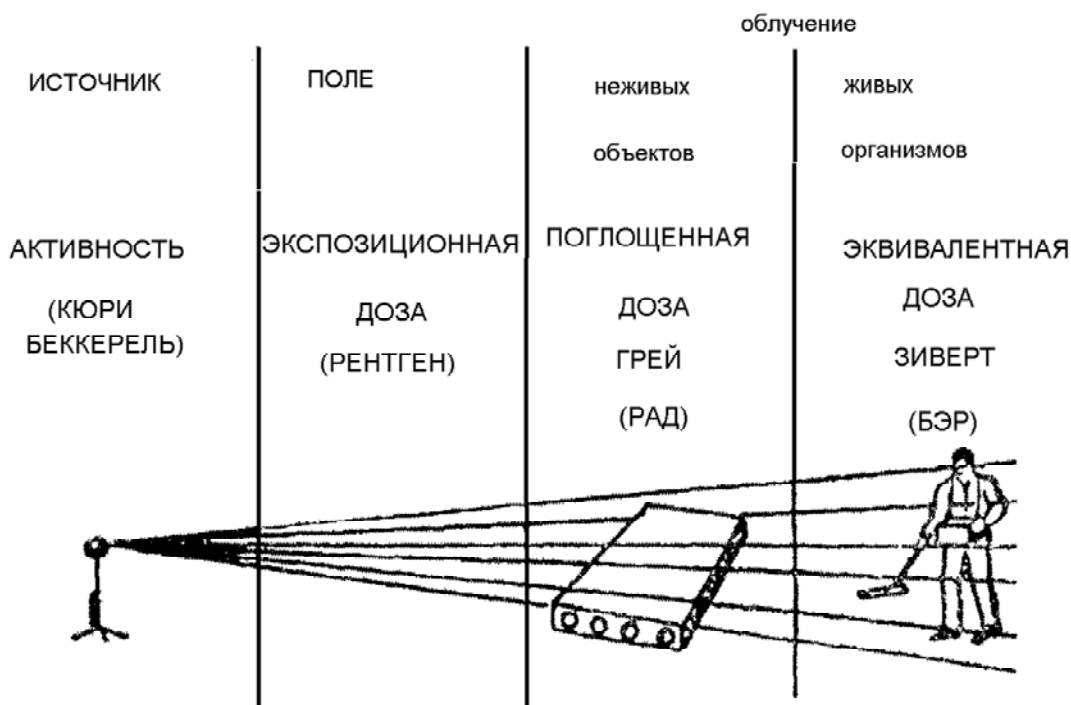


Рис. 9.1. Связь понятий поля, дозы, радиобиологического эффекта и единицы их измерений

Поскольку многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся радиоактивными и в отдаленном будущем, существует еще одно определение.

Ожидаемая (полная) коллективная эффективная эквивалентная доза – это доза, которую получают многие поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования.

На рис. 9.1 проиллюстрирована связь понятий поля, дозы и радиобиологического эффекта и единиц их измерения.

### ***Воздействие радиации на живой организм***

Ионизирующее излучение, действуя на живой организм, вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений, которые приводят к тем или иным биологическим последствиям. Первичным этапом, инициирующим многообразные процессы, происходящие в биологическом объекте, является ионизация (от атома отрывается электрон).

В процессе ионизации происходит разрушение молекул вещества, образуются «свободные радикалы» и сильные окислители с высокой химической активностью.

Получающиеся в процессе радиолиза воды (в биологической ткани 60...70 % по массе составляет вода), свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению жизнедеятельности организма в целом.

Специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты заключается в том, что производимый им эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается (индуцированными свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением).

Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение.

Например, смертельная доза ионизирующего излучения для человека, равная 600 рад (600 бэр), соответствует поглощенной энергии излучения  $6 \cdot 10^4$  эрг/г. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело едва ли на 0,001 °С. Это тепловая энергия, заключенная



в стакане горячего чая. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ионизирующего излучения.

Радиоактивное облучение организма можно сравнить с артиллерийской стрельбой, большинство снарядов накрывает нечувствительные цели, рассеивая энергию в виде тепла, и лишь малая часть поражает важные клеточные структуры. Химические яды бьют прицельно, реагируя только с определенными молекулами. Молекула угарного газа не успокоится, пока не найдет молекулу гемоглобина и не выведет ее из строя. Энергетический эквивалент химических реакций мал, но эффективность яда чудовищна.

В настоящее время среди ученых нет единой точки зрения по вопросу о биологических последствиях малых доз облучения. Некоторые считают, что зависимость доза–эффект имеет линейный вид, другие полагают, что вредные эффекты облучения выявляются, начиная с какого-то определенного порога. Третьи полагают, что небольшие дозы даже полезны. По-видимому, существуют как положительные, так и отрицательные радиационные эффекты малых доз. Науке еще только предстоит выяснить, какие – полезные или вредные для человека – эффекты будут преобладать в каждой конкретной ситуации и определить границу доз, за которой отрицательные эффекты доминируют.

Явной ложью является бытующее сейчас только у нас мнение «о непредсказуемости последствий радиационного воздействия на людей». На деле они известны лучше, чем каждодневное действие всех других вредных факторов.

В табл. 9.1, 9.2 приведены средние годовые дозы облучения населения и дозы производственного облучения в мире [33].

Таблица 9.1

*Средние годовые дозы облучения населения, мкЗв*

Источники	Среднемировая доза	Типичный диапазон	Средняя доза по России
<b>Природные</b>			
Космическое излучение	280		280
Ионизирующая компонента	100		100
Нейтронная компонента	12		12
Космогенные радионуклиды ( $C^{14}$ и др.)			
Сумма	390	300...1000	390
Гамма-излучение	480	300...600	480
Ингаляция $^{210}Pb$ , $^{210}Po$ , $^{232}Th$ и др.	6		6
$^{222}Rn$ и ДПР	1150		1730
$^{220}Rn$ и ДПТ	100		150

Окончание табл. 9.1

Источники	Среднемировая доза	Типичный диапазон	Средняя доза по России
Сумма	1260	200...10 000	10890
Поступление с пищей и водой: <sup>40</sup> K, <sup>210</sup> Pb, <sup>210</sup> Po, <sup>228</sup> Ra, <sup>226</sup> Ra и др.	170		170
	120		120
Сумма	290	200...800	290
Повышенное производственное облучение	2		
Итого	2 400	1 000...10 000	3 050
Искусственные			
Медицинское облучение	400		1 400
Глобальные выпадения	5		
Профессиональное облучение	0,5		
Загрязнение территорий	2		
Текущие выбросы и сбросы	< 0,2		
Итого	400	0...1 200	1 200
Всего за счет всех источников	2 800	1 000...10 000	4 250

Таблица 9.2

*Дозы производственного облучения в мире*

Вид деятельности	Количество работников, тыс.	Ср. доза, (м <sup>3</sup> в/год)	Кол. доза, чел·Зв/год
Ядерный топливный цикл			
Добыча урана	69	4,50	310
Дробление	6	3,30	20
Обогащение	13	0,12	1
Производство топлива	21	1,03	22
Эксплуатация реакторов	530	1,70	900
Переработка топлива	45	1,50	67
Научные исследования	120	0,78	90
ВСЕГО	800	1,75	1 410
Медицинское использование излучения			
Диагностика	950	0,50	470
Дентальная практика	265	0,06	16
Ядерная медицина	115	0,79	90
Радиотерапия	120	0,55	65

Окончание табл. 9.2

Вид деятельности	Количество работников, тыс.	Ср. доза, (м <sup>3</sup> в/год)	Кол. доза, чел. <sup>3</sup> в/год
Другие виды	870	0,14	120
<b>ВСЕГО</b>	<b>2 320</b>	<b>0,33</b>	<b>760</b>
<b>Промышленное использование излучения</b>			
Радиография	106	1,58	170
Производство радиоизотопов	24	1,93	47
Другие виды	570	0,25	140
<b>ВСЕГО</b>	<b>700</b>	<b>0,51</b>	<b>360</b>
<b>Военное использование излучения</b>			
Оружие	380	0,19	75
Суда и их обслуживание	40	0,62	25
<b>ВСЕГО</b>	<b>420</b>	<b>0,24</b>	<b>100</b>
<b>Прочие виды использования</b>			
Обучение	310	0,11	33
Ветеринария	45	0,18	8
<b>ВСЕГО</b>	<b>360</b>	<b>0,11</b>	<b>41</b>
<b>Итого Искусственные источники</b>	<b>4 600</b>	<b>0,60</b>	<b>2 700</b>

## 9.2. Основные проблемы радиационного терроризма

Первое, что необходимо иметь в виду при анализе проблем радиационного терроризма, – существенная замедленность негативных последствий воздействия радиации на человеческий организм. Техническое обеспечение условий быстрого уничтожения человека ионизирующим излучением с полной очевидностью лежит за пределами возможностей террористов.

Сказанное, разумеется, не следует смешивать с общей возможностью нанесения таким путем тяжелого, а при определенных условиях и уровне воздействия и неминуемо смертельного ущерба здоровью людей. Однако даже в наиболее тяжелых мыслимых случаях в этом смысле речь идет о днях и месяцах, если не о годах. В этом принципиальное отличие радиоактивных материалов в руках террориста от взрывчатки, сильнодействующих отравляющих веществ, да и обычного огнестрельного оружия. Все перечисленное действует быстро, если не мгновенно. Кроме того, открытая со стороны террористов угроза применения радиоактивных материалов с точки зрения достижения цели теряет смысл и с большой вероятностью является блефом.

Существует, однако, и другое обстоятельство, превращающее радиационный терроризм в фактор вполне обоснованной озабоченности.

Имеется в виду простота нанесения с помощью радиоактивных материалов огромного материального ущерба при минимальной непосредственной угрозе жизни и здоровью людей. В большинстве ситуационных сценариев именно такая тактика может оказаться наиболее предпочтительной для террориста, в том числе и с точки зрения наступления для него возможных юридических последствий.

В этом смысле, например, гипотетическая радиационная атака с распылением радиоактивных материалов по внутренним помещениям большого здания или даже радиоактивным заражением питьевого источника вопреки широко распространенному заблуждению практически не представляет, в большинстве сценариев, прямой опасности для жизни и здоровья людей (при предупреждении со стороны террористов, что более отвечает их интересам). Однако материальный ущерб от такой акции, предпринятой в одном из узловых пунктов инфраструктуры современного общества, может быть огромным из-за необходимости принятия немедленных мер по обеспечению соблюдения норм радиационной безопасности.

Наиболее вероятными целями радиационного терроризма могут быть:

- административные, деловые, финансовые, информационные и телекоммуникационные центры;
- подземные транспортные коммуникации (метро);
- продовольственные склады и базы;
- источники водоснабжения.

Если же радиационная атака стала реальностью, необходимо проведение следующих мероприятий:

- немедленное прекращение эксплуатации атакованного объекта вплоть до гарантированного выполнения норм радиационной безопасности;
- установление санитарно-защитной зоны особого режима с непрерывным дозиметрическим контролем;
- работы по дезактивации оборудования и помещений, а при необходимости и прилегающих территорий;
- сбор и уничтожение (либо захоронение) загрязненных субстанций и объектов, не подлежащих либо не поддающихся дезактивации;
- организация работы альтернативных объектов инфраструктуры на время прекращения деятельности атакованных либо системное перераспределение их функций между действующими;
- медицинское обследование пострадавших и по необходимости проведение лечебных и профилактических мероприятий;
- информационные и разъяснительные мероприятия с целью минимизации морального, социального и психологического ущерба.

Конкретный объем и относительная значимость этих мероприятий зависят от особенностей создавшейся ситуации.

Наиболее эффективным способом защиты является полный входной радиационный контроль с внедрением высокоэффективных регистрирующих установок непрерывного действия. В отличие от отравляющих веществ, самостоятельно изготовить радиоактивные материалы совершенно невозможно.

Наиболее масштабным источником наработки радиоактивных материалов в качестве отходов, так и полезной продукции является атомная промышленность и энергетика, а также пункты захоронения РАО. Однако своеобразие функциональных структур соответствующих производств и объектов (как гражданских, так и военных), высокий образовательный и культурный уровень обслуживающего персонала, многоуровневая система технических, административных и правовых мер противодействия делают рассматриваемые объекты сравнительно малоуязвимыми для хищений радиоактивных материалов. Своеобразными дополнительными барьерами таким попыткам являются также огромные мощности внешних радиационных полей, значительные габариты и нетранспортабельность большинства технологических веществ, узлов и элементов, представляющих интерес в контексте радиационного терроризма.

### **9.3. Наиболее распространенные изотопные источники излучения**

Несравненно большую опасность в этом контексте представляют общепромышленные, медицинские и исследовательские технологии, основанные на применении изотопных источников излучения. Круг их использования в настоящее время весьма широк – радиоизотопные генераторы, радиационные дефектоскопы, геофизический каротаж, промышленная радиография, лучевая терапия, стерилизация семян, научно-исследовательские работы и др. Несмотря на то что изотопные источники для этих технологий в ряде случаев обладают огромными активностями, организация их учета, контроля и списания, а также надежность физической защиты не идут ни в какое сравнение с применяемыми в атомной энергетике и промышленности. С достаточной уверенностью можно утверждать, что число неучтенных и безвозвратно утерянных изотопных источников излучений (в особенности устаревших) значительно. Значит, велика вероятность того, что они могут попасть (или уже попали) в руки потенциальных преступников. А путь от получения радиоактивных материалов до практической возможности организации террористической радиационной атаки, к сожалению, довольно короток.

Наиболее распространенные изотопные источники излучения представлены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

## Наиболее распространенные изотопные источники излучения

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Тритий-3	$\beta^-$	12,33 г	0,089*	14,01	Промышленность	Контрольно-технологические приборы. Применяют в военной технике. Является одним из компонентов водородной бомбы для ионизации воздуха в промышленных установках. Используют для снятия электростатических зарядов. Радиоизотопный источник света (РИС)
Бериллий-7	$\gamma$	53,28 сут			Промышленность	Применяют в методе меченых атомов, а также в качестве индикатора
Бериллий-10	$\beta^-$	$1,5 \cdot 10^6$ лет	1,85	1 560	Промышленность	Представляет интерес для геохимии
Азот-13	$\beta^+$	9,96 мин	1,2506*	77,4	Промышленность	Используется при активационном анализе, например при анализе сталей
Углерод-11	$\beta^+$	20,4 мин	2,26	4 020	Медицина	Диагностика заболеваний
Углерод-14	$\beta^-$	5730 лет			Медицина	Диагностика заболеваний
Кислород-15	$\beta^+$	2,04 мин	1,429*	54,8	Промышленность	Использование при создании меченых соединений
Фтор-18	$\beta^+$	1,84 ч	1,696*	53,5	Медицина	Диагностика заболеваний
Натрий-22	$\beta^+$	2,6 г	0,97	371	Медицина	Исучение водо-солевого обмена
Na-24	$\beta^-$	15,03 ч			Медицина	Оценка состояния локального тканевого кровотока, проницаемости капилляров и метаболизма натрия при различных заболеваниях

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Алюминий-26	$\beta^+$ , $\gamma$	$7,2 \cdot 10^5$ лет	2,70	935,5	Промышленность	Применяют в методе меченых атомов
Алюминий-28	$\beta^-$ , $\gamma$	2,24 мин			Промышленность	Используют в активационном анализе
Фосфор-32	$\beta^-$	14,3 сут			Медицина	Лучевая терапия злокачественных новообразований, лечение хронических экзем, невродермитов и т. д.
Фосфор-33	$\beta^-$	25,3 сут	1,82	317,4	Промышленность	Использование при создании меченых соединений
					Промышленность	Использование при создании меченых соединений
Сера-35	$\beta^-$	87,5 сут	2,07	392	Промышленность	Использование при создании меченых соединений
Хлор-36	$\beta^-$	1 000 лет	3,214*	172,2	Промышленность	Использования при создании меченых соединений
Аргон-42	$\beta^-$	32,9 г	1,784*	83,3	Медицина	Обмен калия в организме
Калий-42	$\beta^-$	12,36 ч	0,86	336,4	Медицина	Определение общего содержания калия в организме, его «просранства» и обменоспособности, а также степени насыщения эритроцитов калием
Ванадий-48	$\beta^-$ , $\gamma$	16 сут			Медицина	Используют для приготовления меченых соединений, с помощью которых значительно расширены представления о метаболизме этого элемента в организме
Ванадий-49	$\epsilon$	330 сут	5,96	2190	Медицина	Используют в активационном анализе различных материалов
Ванадий-52	$\beta^-$	3,9 мин			Промышленность	Искусственный источник нейтронов, используется например, при калибровке нейтринного телескопа
Хром-51	ЭЗ	27,7 сут	7,19	2176	Медицина	Диагностика различных заболеваний крови и желудочно-кишечных кровотечений

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Железо-55	$\epsilon$	2,73 л	7,87	1 811	Промышленность	Использование при создании меченых соединений в металлургии, машиностроении. Рентгеновские источники для дефектоскопии
Кобальт-58	$\beta^+$	71,3 сут	8,84	1 767	Медицина	Диагностика болезней оперированного желудка, заболеваний печени и кишечника
		44,6 сут			Медицина	Клиническое исследование обмена железа
Железо-59	$\beta^-$		7,87	1 811	Промышленность	Применяют в радиоизотопной диагностике
Кобальт-60	$\beta^-$	5,26 г	8,84	1 767	Медицина	Внутриполостное облучение различных органов, внутритканевая терапия, лучевая стерилизация
					Промышленность	Радиационно-технологические установки. Контрольно-технологические приборы
Галлий-67	$\gamma$	3,26 сут			Медицина	Применяют для сканирования костей,
Галлий-68	P+	68 мин			Медицина	костного мозга, печени, селезенки и головного мозга
Галлий-72	$\beta^-, \gamma$	14,1 ч	5,9	302,9	Медицина	Применяют для лечения и диагностики костных опухолей
					Промышленность	Определяют содержание радионуклида в метеоритах, железе и других материалах методом нейтронной активации
Селен-75			4,79	490	Медицина	Используются для дистанционной терапии опухолей, расположенных в различных частях тела
Бром-80m	$\gamma$	4,42 ч			Промышленность	Широко используются в методе меченых атомов в физической химии, биологии
Бром-82	$\beta^-$	35,4 ч	3,1	265,8	Медицина	Изучение нарушений водо-солевого обмена, обмена брома, связанных с сердечно-сосудистыми, легочными заболеваниями и др.
					Промышленность	Используются в методе меченых атомов



Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Свинец-205	ε	1,5·10 <sup>7</sup> лет	11,84	600,6	Медицина	Позитронно-эмиссионная томография в кардиологии
Стронций-82	ε	25 сут			Медицина	Генератор Rb-82
Стронций-85	ЭЗ	64,5 сут	2,63	1043	Медицина	Диагностика первичных и вторичных злокачественных опухолей скелета
Рубидий-86	β <sup>-</sup>	18,7 сут	1,53	312,7	Медицина	Изучение обмена калия, определение периферического кровообращения и миокардиального кровотока
Иттрий-87	γ	79,8 ч	4,48	1 779	Медицина	Диагностика опухолей костей
Криптон-85	β <sup>-</sup>	10,7 г	3,74*	116,6	Промышленность	Контрольно-технологические приборы. Радиоизотопный источник света (РИС)
Стронций-89	β <sup>-</sup> , γ	50,5 сут			Медицина	Широкое использование в области лучевой терапии
Стронций-90	β <sup>-</sup>	28,7 г	2,63	1 043	Медицина	Генератор для получения Y-90, лучевая терапия
Иттрий-90	β <sup>-</sup> , γ	64 ч	4,48	1 779	Промышленность	Системы навигации, автоматические метеорологические станции – для радиоизотопных источников энергии
Молибден-99	β <sup>-</sup> , γ	66,7 ч	10,22	2 890	Медицина	Внутриканевая лучевая терапия злокачественных новообразований, индикатор в биологических исследованиях и т. п.
Технеций-99	β <sup>-</sup>	2,14·10 <sup>6</sup> лет			Медицина	Сканирование печени, щитовидной и слюнной желез, опухолей головного мозга и т. п. Генератор Tc 99 т
Технеций-99m	γ	6,01 ч	11,49	2 400	Промышленность	Катализатор, ингибитор коррозии, также используется в качестве добавки к полупроводниковым сплавам
					Медицина	Ключевой радионуклид ядерной медицины, используемый в более чем 80 % радионуклидных процедур для диагностики злокачественных новообразований и заболеваний сердца

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Палладий-103	ε, γ	16,99 сут	12,02	1827	Медицина	Применяется при лечении локализованных форм рака предстательной железы (бархитерапия)
Родий-105	β <sup>-</sup> , γ	35,4 ч	12,44	2236	Медицина Медицина	Лечение глазной катаракты и др. злокачественных опухолей органов зрения
Кадмий-109	ε, γ	1,24 л	8,65	594	Промышленность	Геологическая и технологическая аппаратура для определения концентрации металлов в процессе добычи и переработки руд
Индий-111	Э.З.	2,81 сут			Медицина	Сканирование печени, сцинтиграфия лимфатических узлов, кровотока печени
Индий-113	γ	1,66 ч	7,31	429,8	Медицина	Для сканирования полостей сердца
Индий-113m					Медицина	Диагностика
Олово-113	γ	115,1 сут			Медицина	Исследование сердечно-сосудистой системы, сканирование печени, изучение работы почек. Генератор In 113m
Олово-119m	γ	293 д	7,298	504	Промышленность Медицина	Измерение скоростей космических объектов. Поиск и анализ полезных ископаемых, неразрушающий химический и фазовый анализ веществ, виброметрия
Йод-125	γ	59,4 сут			Медицина	Биомедицинские исследования органов слуха
Йод-131	β <sup>-</sup>	8,1 сут	4,93	386	Медицина Медицина	Применяют в физической химии, биологии и медицине с целью диагностики и лечения Большой круг диагностических задач с использованием меченых I <sup>131</sup> соединений
Йод-132	β <sup>-</sup>	2,28 ч			Медицина	Изучение функций щитовидной железы

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Ксенон-133	$\beta^-$	5,29 сут	5,89*	161,3	Медицина	Диагностика заболеваний спинного мозга и позвоночника. Для определения остаточного воздуха и исследования регионарной вентиляции легких
Цезий-137	$\beta^-$	30,2 лет	1,9	301,6	Медицина	Лучевая стерилизация медицинских продуктов, онкология
					Промышленность	Радиационно-технологические установки. Контрольно-технологические приборы. Радиоизотопный источник света (РИС)
Барий-133	$\gamma$	10,7 сут	3,76	983	Промышленность	Используют в качестве стандартов в гамма-спектрометрии
Барий-140	$\beta^-, \gamma$	12,7 сут			Медицина	Мощный источник $\gamma$ -излучения (не утвержденная сфера применения)
Лантан-140	$\beta^-, \gamma$	1,89 д	6,16	1 190	Медицина	Мощный источник $\gamma$ -излучения
Церий-144	$\beta^-, \gamma$	255 д	6,657	1 072	Промышленность	Радиоизотопный источник света (РИС). Изотопные источники энергии. Контрольно-технологические приборы
					Медицина	При лечении сердечной недостаточности
Прометий-147	$\beta^-$	2,6 г	7,22	1 441	Медицина	Лечение заболеваний переднего отдела мозга и в дерматологии (экземы, нейродермиты). Применяется в изотопных источниках энергии для кардиостимуляторов
					Промышленность	Нейтролизаторы статического электричества. Контрольно-технологические приборы
					Медицина	Для лечения новообразований
Европей-152	$\beta^+, \beta^-, \gamma$	13,5 лет	5,423	1 155	Промышленность	Как $\gamma$ -излучатель для гамма дефектоскопии

Продолжение табл. 9.3

Изоотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Самарий-151	$\beta^-$	90 л	7,5	1 350	Медицина	Контактная лучевая терапия опухолей
Гадолиний-153	$\gamma$	240 сут	7,9	1 586	Медицина	Применяют в радиобиологических исследованиях
Европий-155	$\beta^-, \gamma$	4,76 лет	5,423	1 155	Медицина	Для медицинской гаммаграфии
Иттербий-169	$\alpha, \gamma$	30,7 сут	6,96	1 092	Медицина	Сканирование опухолей головного мозга, определение скорости клубочковой фильтрации почек
Tm-170	$\beta^-, \gamma$	128,6 сут	9,23	1 818	Промышленность	Используется в дефектоскопии и т. д.
Тафний-175	$\gamma$	70 сут	13,31	2 222	Промышленность	Используют в методе меченых атомов
Гафний-181	$\beta^-, \gamma$	42,4 сут			Промышленность	
Вольфрам-188	$\beta^-$	69,8 сут	19,32	3 660	Медицина	Генератор Re-188
Рений-189	$\beta^-, \gamma$	24,3 ч	21,04	2 236	Медицина	Обработка коронарных артерий для рестеноза. Терапия злокачественных новообразований
Иридий-190	$\gamma$	11,8 сут	22,4	2 720	Промышленность	Используют в методе меченых атомов
Иридий-192	$\beta^-, \gamma$	71, 8 сут			Промышленность	Дефектоскопия.
					Медицина	Используют в методе меченых атомов
Иридий-194	$\beta^-, \gamma$	19,6 ч			Лучевая терапия, имплантация	Используют в методе меченых атомов, широко применяют в радиологии

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Золото-198	$\beta^-$	2.7 сут	19,30	1387,6	Медицина	Сканирование печени, лимфатических узлов, лучевая терапия злокачественных опухолей
Ртуть-197	$\beta^-$	64,1 ч	13,55	234,3	Медицина	Сканирование почек и опухолей головного мозга
Таллий-204	$\beta^-$	3.78 г	11.85	577	Медицина	В дерматологии при лечении очаговой хронической экземы, нейродермитов
					Промышленность	
Висмут-206	$\gamma$	6,24 сут			Медицина	Для лечения лимфогранулематоза и лимфатической лейкемии
Висмут-207	$\gamma$	32,9 лет	9,8	544,6	Промышленность	Используют в методе меченых атомов, в различных физико-химических, радиобиологических и других исследованиях
Висмут-210	$\alpha, \beta^-$	5 сут			Промышленность	
Полоний-210	$\alpha, \gamma$	138 сут		527	Промышленность	Используется в военной и космической аппаратуре. При изготовлении нейтронных источников
					Медицина	
Астатин-211	$\alpha, \gamma$	7,21	9,32	575	Медицина	Используется при лечении лейкемии
Висмут-210	$\alpha, \gamma$	5,01 д	9,8	544,6	Медицина	Генератор Bi-213
Актиний-225	$\alpha, \gamma$	10 д	10,07	1370	Медицина	
Радий-226	$\alpha, \gamma$	1608 лет	5,5	1070	Медицина	Радонные ванны

Продолжение табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Уран-235	α, γ	7,0·10 <sup>8</sup> лет	19,04	1406	Промышленность	Ядерное топливо для ядерных реакторов
Нептуний-237	α, γ	2,1·10 <sup>6</sup> лет	20,45	913	Промышленность	Материал для мишеней при получении Pu-238 и других тяжелых актиноидов
	β <sup>-</sup> , γ	2,12 сут			Промышленность	
Уран-238	α, γ	4,5·10 <sup>9</sup> лет	19,04	1 406	Промышленность	Ядерное топливо и материал воспроизводства для ядерных реакторов
Плутоний-238	α, γ	87,7 лет	19,7	912	Промышленность	Источники энергии для военной аппаратуры, наземных установок, навигации и космоса. Нейтролизаторы статического электричества. Контрольно-технологические приборы
					Медицина	Батарея для аппарата «Искусственное сердце». Радиозотопный кардиостимулятор
Плутоний-239	α, γ	2,4·10 <sup>4</sup> лет			Промышленность	Ядерное топливо для ядерных реакторов. Материал для изготовления ядерного оружия. Дымоизвещатели
Америций-241	α, γ	423 л	13,64	1 449	Промышленность	Изготовление источников нейтронов, основанных на реакции(α,n) с использованием Be или В, а также γ-источников. Стартовый материал для получения Cm-242
Кюрий-242	α, γ	163 сут	13,51	1 613	Промышленность	Используется в качестве изотопных источников тепла, является материалом для изготовления термоэлектрических генераторов (ТЭГ). Материал, используемый для получения Pu-238

Окончание табл. 9.3

Изотоп	Тип распада	Период	Плотность г/см <sup>3</sup> (г/л)	T <sub>пл</sub> , К	Сфера применения	Примечание
Америций-243	$\alpha, \gamma$	7370 лет	13,64	1 449	Промышленность	Применяется для изготовления источников нейтронов и дефектоскопии, разведки полезных ископаемых, а также для получения более тяжёлых элементов, например для получения Cm-244
Кюрий-244	$\alpha, \gamma$	18,1 лет			Промышленность	Используется в качестве изотопных источников тепла и как нейтронизатор статического электричества
Кюрий-246	$\alpha, \gamma$	4 760 лет	13,51	1 613	Промышленность	Изотопный стартовый материал для наработки Cf <sup>252</sup>
Кюрий-248	$\alpha, \gamma$	3,540s лет			Промышленность	
Калифорний-252	$\alpha$	2,64 лет	15,1	1 170	Промышленность	Чрезвычайно компактный нейтронный источник, используемый для радиографии толстостенных изделий, при разведке нефтяных и рудных месторождений и т. д.
					Медицина	

Разумеется, подготовка и проведение – далеко не общедоступное и элементарное дело, но при известных технических знаниях, организационных навыках и финансовых возможностях гораздо более реальное, чем организация акта ядерного терроризма.

В связи с изложенным необходимо принятие следующих мер:

- резкое ужесточение режимов производства, хранения, эксплуатации, транспортировки и в особенности списания изотопных источников;
- активизация работ по замене радиотоксичных материалов, используемых в радиационных технологиях, на вещества с меньшей радиотоксичностью;
- развитие радиационных технологий на основе неизотопных (в частности, электрофизических) источников излучений;
- неукоснительное соблюдение принципа предпочтения нерадиационных технологий радиационным в случаях, когда обеспечивается сравнимый целевой и экономический эффект.

#### **9.4. Радиологические критерии использования радиоактивных материалов в целях терроризма**

Для решения задачи предупреждения и эффективной организации барьеров от использования радиоактивных материалов в террористических и криминальных целях необходимо оценить возможность такого применения, прежде всего с позиций радиологических критериев. Кроме того, в этих условиях вероятны значимые психологические, социальные и экономические последствия. С этой целью авторы предлагают рассмотреть такие вопросы, как [12]:

- обзор опасных радиоактивных материалов для определения угроз, связанных с использованием устройств радиологического рассеяния;
- разработка сценариев радиологического рассеяния и реагирования в условиях города;
- оценка относительной радиологической опасности различных радиоизотопных источников и радиоактивных материалов, включая радиоактивные отходы, при различных сценариях их использования в криминальных и террористических целях.

Основные критерии для оценки возможности применения радиоактивных материалов в террористических целях представлены на рис. 10.2.

С целью предварительного анализа могут быть выделены два варианта развития ситуации.

В первом используются достаточно мощные по активности радионуклидные источники без их разгерметизации. В этом случае опасность представляет испускаемое источником внешнее излучение, воздействие которого ограничивается небольшим числом вовлеченных лиц. Во вто-



ром варианте радиоактивное вещество в результате диспергирования распределяется по территории, что приводит к резкому уменьшению дозы внешнего излучения. Однако радиоактивное загрязнение создает значительные санитарные, психологические и экономические проблемы.

При решении практических вопросов защиты от несанкционированного применения радиоактивных материалов в первую очередь следует обратить внимание на разработку и внедрение процедур для своевременного и точного обнаружения радиационного воздействия, выявления вовлеченных лиц и последующего информирования населения. На первом этапе выполнения работы предполагается сбор и анализ информации по различным радионуклидным источникам и радиоактивным материалам, применяемым в тех или иных отраслях экономики, которые могут оказаться наиболее доступными для использования в террористических и криминальных целях. При этом будет проведена предварительная, формальная оценка их радиологической опасности по ограниченному набору критериев. На последующих этапах работы предполагается разработка моделей и экспертно-аналитических программ для оценки возможных последствий при различных условиях применения.

Отечественная и зарубежная статистика свидетельствует, что более половины всех радиационных аварий связаны с радионуклидными источниками (РНИ).

Авария с радионуклидным источником (РНИ)  $^{137}\text{Cs}$  в 1987 г. привела к облучению 249 человек из числа населения бразильского городка Гайяния, при этом зарегистрировано 28 случаев острых радиационных поражений – местное и острое лучевые поражения (МЛП и ОЛБ), – в четырех случаях, приведших к летальным исходам. Авария с похищенным РНИ  $^{137}\text{Cs}$  в 1995 г. в Эстонии стала причиной возникновения тяжелых радиационных поражений, приведших к летальному исходу (радиационное воздействие не идентифицировано при жизни) одного человека и облучению трех человек в клинически значимых дозах. Другая радиационная авария на постсоветском пространстве, в Грузии, в 1998 г. с несколькими потерянными РНИ  $^{137}\text{Cs}$  привела к лучевому поражению 12 человек с серьезными последствиями для их здоровья. В 1997 г. в результате боевых действий на территории г. Грозного был потерян контроль над РНИ медицинской установки. В результате были выявлены два случая МЛП с серьезными последствиями для здоровья. Регистрировались случаи криминального использования РНИ (1988 г. – Новосибирск, 1996 г. и 1997 г. – Москва) с целью причинения вреда здоровью третьих лиц, в том числе с летальным исходом. Для всех указанных аварий идентификация факта радиационного воздействия выполнена после диагностики болезни у пострадавших (как правило, МЛП).



*Рис. 9.2. Основные критерии для оценки возможности применения ядерных и радиационных материалов*

Таблица 9.4

*Радиационные инциденты на территории бывшего СССР  
(по материалам регистра ГНЦ «Институт биофизики»)*

Классификация инцидентов	Количество инцидентов	Количество пострадавших с клинически значимыми последствиями (ОЛБ + МЛП)		
		в том числе		
		всего	с ОЛБ	умерших
Инциденты с радиоизотопными установками и источниками излучений (всего)	92	167	49	16
В том числе:				
• $^{60}\text{Co}$	17	28	15	3
• $^{137}\text{Cs}$	19	59	13	9
• $^{192}\text{Ir}$	37	54	12	1
• другие $\gamma$ -излучатели	8	10	2	–
• $\gamma$ - $\beta$ -излучатели	2	2	–	–
• $\beta$ -излучатели	9	17	7	3
Рентгеновские установки и ускорители (всего)	39	43	–	–
В том числе:				
• рентгеновские установки	27	30	–	–
• ускорители электронов	9	10	–	–
• ускорители протонов	3	3	–	–
Реакторные инциденты и потеря контроля над критичностью делящегося материала (без Чернобыльской аварии)	33	82	73	13
В том числе:				
• потеря контроля над критичностью	16	42	42	10
• реакторные инциденты (другие причины)	17	40	31	3
Случаи с МЛП на предприятиях ПО «Маяк» в 1949–1956 гг.	168*	168	–	–
Аварии на атомных подводных лодках	4	133	85	12
Другие инциденты (всего)	12	17	7	2
Итого (без аварии на Чернобыльской АЭС)	348*	613	214	43
Чернобыльская авария 1986 г.	1	134 (114**)	134 (114**)	28 (28**)
<b>Всего...</b>	<b>349*</b>	<b>747***</b>	<b>348</b>	<b>71</b>

\* Каждый случай с МЛП на предприятиях ПО «Маяк» в 1949–1956 гг. рассматривается как отдельный инцидент.

\*\* В том числе проходившие обработку и лечение в клинике ГНЦ «Институт биофизики».

\*\*\* Всего в ГНЦ «Институт биофизики» и его филиале в г. Озерске проходили обработку и лечение более 80 % пострадавших.

Характерные особенности различных типов радиационной аварии с РНИ рассмотрены в табл. 9.5.

Видно, что, если РНИ окажутся за пределами контролируемых производственных условий, в случае контакта с населением возможны значимые медицинские, психологические, социальные и экономические последствия. Причем их наличие может быть установлено либо случайно при дозиметрическом контроле, либо при анализе случаев заболевания.

С целью предварительного анализа могут быть выделены два варианта.

1. Без разгерметизации радионуклидного источника (наиболее чаще встречающийся вариант). Имеющаяся статистика свидетельствует, что радиационные аварии этого вида характеризуются следующими типичными обстоятельствами:

- источник находится без защитного контейнера в рабочем или жилом помещении (в стене дома, в дверце транспортного средства и т. п.). Характерное расстояние от источника до поверхности тела человека – 1 м, время облучения – длительное (от нескольких суток до месяцев). Облучаемый объект – все тело. Результат облучения – острая или хроническая лучевая болезнь. Местные лучевые поражения маловероятны;
- источник без защиты находится в кармане одежды. Характерное расстояние – 1 см, время облучения – несколько часов. Результат облучения – МЛП участка тела в проекции кармана, нельзя также исключать ОЛБ.

2. Нарушение герметичности источника, что привело (может привести) к радиоактивному загрязнению помещений, территории и окружающей среды. Данный вариант радиационного воздействия может характеризоваться следующими обстоятельствами:

- пожар, возгонка (возможно механическое диспергирование) и вдыхание радиоактивных аэрозолей людьми, оказавшимися в зоне пожара, электросварки, механической обработки и т. д.;

Таблица 9.5

## Характерные особенности различных типов радиационной аварии с радионуклидными источниками

Условия	Специализированные предприятия и учреждения, использующие РНИ и имеющие службу радиационной безопасности	Неспециализированные предприятия и учреждения, использующие РНИ (гамма-дефектоскопия, контрольные и измерительные устройства, медицинские облучательные установки и т. п.)	Население
Установление факта радиационной аварии	Как правило, в ближайшее время (минуты)	Спустя часы и сутки	Спустя продолжительное время (дни, месяцы)
Зона радиационной аварии	Цех, лаборатория, здание, промзона предприятия	Здания и территория предприятия. Возможен неконтролируемый вынос за пределы предприятия и попадание РНИ в жилую зону и жилища	Неожиданные места, в том числе места отдыха и жилища
Медико-санитарные последствия	Единичные случаи переоблучения персонала в дозах, опасных для здоровья и жизни	Радиоактивное загрязнение, повышенное облучение работников в дозах, как правило, не представляющих прямой угрозы их жизни	МЛП, ОЛБ легкой и средней тяжести, радиоактивное загрязнение. Могут быть вовлечены дети. Число лиц различно от случая к случаю, но, как правило, не больше 10...15 человек
Организация лечебно-профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий	Медицинские мероприятия проводятся силами МЧС и специализированных медицинских учреждений. Оказание медицинской помощи выполняется своевременно и в должном объеме	Медицинские и санитарно-гигиенические мероприятия начинают проводиться силами местных ЛПУ и ЦГСЭН, как правило, по общению руководства предприятия. В зависимости от масштаба аварии привлекаются специализированные медицинские учреждения	Медицинские и санитарно-гигиенические мероприятия начинаются проводиться силами местных ЛПУ и ЦГСЭН, как правило, после обращения пострадавших. Всегда требуется подключение специализированных медицинских учреждений

Таблица 9.6

*Сравнительная опасность радионуклидных источников, исходя из возможных доз внешнего облучения, без разгерметизации радионуклидного источника*

Радио- нуклид	Период периода распада	Активность РНИ, приводящая к острому поражению, Бк						Активность РНИ, выпускаемых промышленностью, Бк
		Внешнее $\gamma$ -облучение			Внешнее $\beta$ -облучение			
		1 мм 1 мин	1 см 1 ч	1 м 10 сут	1 мм 1 мин	1 см 1 ч	1 м 10 сут	
C-14	5 730 лет				8,60E + 08	1,90E + 09		2,09E + 09
Co-60	5,2 года	7,41E + 09	4,79E + 08	7,73E + 09				3,2E + 14
Zn-65	243,9 сут	3,16E + 10	1,98E + 09	2,89E + 09				6,2E + 11
Sr-90	29,1 года				3,45E + 08	7,58E + 08	2,63E + 10	3,3E + 13
Ru-106	368,2 сут	8,42E + 10	5,30E + 09	7,69E + 10	4,00E + 08	8,81E + 08	3,85E + 10	5,5E + 10
Ag-110m	249,9 сут	6,27E + 09	3,97E + 08	1,13E + 10				6,5E + 09
Sb-124	60,2 сут	1,01E + 10	6,31E + 08	1,70E + 10				9,9E + 10
Cs-134	2,0 года	1,11E + 10	7,03E + 08	1,89E + 10				1,5E + 11
Cs-137	30 лет	3,60E + 10	1,85E + 09	3,18E + 10				1,2E + 14
Ce-144	284,3 сут	7,46E + 11	5,05E + 10	5,35E + 11	3,61E + 08	8,01E + 08	3,50E + 10	1,4E + 13
Pm-147	2,6 года	6,46E + 15	4,06E + 14	5,90E + 15	6,52E + 08	1,44E + 09		1,6E + 12
Tm-170	128,6 сут	3,57E + 13	2,31E + 12	1,67E + 113				3,2E + 13
Ir-192	74 сут	1,81E + 10	1,32E + 09	1,75E + 10				1,4E + 13
Tl-204	3,7 года	1,94E + 13	1,22E + 12	1,77E + 13	1,52E + 08	3,33E + 08	2,50E + 07	5,5E + 10

- внешнее облучение от радионуклидов, осевших на поверхность;
- вдыхание радиоактивных аэрозолей при вторичном ветровом подъеме радионуклидов, осевших на поверхность;
- радиоактивное загрязнение кожных покровов людей, одежды и обуви.

При условиях первого типа (т. е. без разгерметизации РНИ) опасность представляет испускаемое источником внешнее излучение.

В табл. 9.6 представлены результаты оценки относительной опасности радионуклидных источников на основе расчетов доз внешнего облучения при рассмотренных вариантах аварий с этими источниками. Они позволили определить параметры таких источников, при которых наиболее вероятно возникновение острых радиационных эффектов. В этом случае наибольшую опасность представляют радионуклидные источники на основе кобальта-60, стронция-90, цезия-137, церия-144, прометия-147, иридия-192.

При условиях второго типа радиоактивное вещество распределяется по окружающей территории, что приводит к резкому уменьшению дозы внешнего облучения пострадавших, однако дополнительную опасность может представлять значительное (вплоть до МЛП) загрязнение кожных покровов, внутреннее облучение в результате поступления радиоактивного вещества в организм.

Радиоактивное загрязнение территории создает значительные санитарно-гигиенические проблемы. В результате предварительного анализа параметров радиационного воздействия в случае разгерметизации РНИ была оценена относительная опасность различных источников (табл. 9.6). В этом случае наибольшую опасность представляют источники на основе кобальта-60, стронция-90, рутения-106, цезия-137, церия-144, прометия-147, тулия-170, иридия-192, америция-241, калифорния-252.

Результаты наглядно демонстрируют, что дозы, полученные пострадавшими при этом виде применения РНИ, скорее всего не приведут к развитию острых радиационных эффектов, но потребуют проведения необходимых санитарно-гигиенических мероприятий.

Одним из объектов для ядерных террористов являются пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) «Радон», которые находятся в Новосибирской и Иркутской областях. По данным Новосибирского ПЗРО «Радон», на предприятии находится более 35 тыс. источников ионизирующего излучения активностью более 348 кКи и объемом 1000 м<sup>3</sup>. В случае захвата террористами ПЗРО или спецавтотранспорта и изъятия источников они могут быть использованы для облучения людей. В Российской Федерации около 16 тыс. организаций, использующих источники ионизирующих излучений, включая 14 ПЗРО, 10 АЭС и 18 прочих особо радиационно-опасных объектов. С источниками ионизирующего

излучения в геологии, медицинских, научных и учебных учреждениях, в таможене и т. п. работают более 211 тыс. человек [13].

Таблица 9.7

*Сравнительная опасность РНИ  
исходя из возможных доз внешнего и внутреннего облучения,  
с разгерметизацией радионуклидного источника*

Радионуклид	Период полураспада	Критическая активность в случае ингаляционного поступления при пожаре (внутреннее облучение), Бк	Критическая активность в случае распыления радионуклида на площади 100 м <sup>2</sup> (внутреннее и внешнее облучение), Бк	Активность РНИ, выпускаемых отечественной промышленностью
Кобальт-60	5, 2 года	1,72E + 09	6,27E + 11	3,2E + 14
Цинк-65	243,9 сут	1,72E + 10	2,64E + 12	6,2E + 11
Стронций-90	29,12 года	3,33E + 08	8,33E + 13	3,0E + 13
Рутений-106	368,2 сут	8,06E + 08	7,00E + 12	5,5E + 10
Серебро-110m	249,9 сут	4,17E + 09	4,51E + 12	6,5E + 09
Сурьма-124	60,2 сут	8,20E + 09	8,38e + 11	9,9E + 10
Цезий-134	2,0 года	7,35E + 09	9,24E + 11	1,5E + 11
Цезий-137	30 лет	1,04E + 10	2,49E + 12	1,2E + 14
Церий-144	284,3 сут	1,02E + 09	2,96E + 13	1,4E + 13
Прометий-147	2,6 года	1,06E + 10	5,41E + 17	1,6E + 12
Тулий-170	128,6 сут	7,58E + 09	4,57E + 12	3,2E + 13
Иридий-192	74 сут	8,06E + 09	1,75E + 12	1,4E + 13
Америций-241	433 года	1,28e + 06	3,21E + 11	7,0E + 10
Калифорний-252	2,6 года	2,78E + 06	6,94E + 11	1,0E + 10

### 9.5. Международная шкала ядерных событий

Зарубежные и отечественные документы, посвященные планированию защитных и медицинских мероприятий в случае аварии с выбросом радиоактивности, в основном базируются на известных закономерностях формирования радиационной обстановки в случае аварии на предприятии ЯТЦ.

Международная шкала ядерных событий (INES – International Nuclear Event Scale) была введена в 1990 году и применяется к любым ядерным событиям, которые могут случиться на предприятиях ЯТЦ.



Таблица 9.8

## Международная шкала ядерных событий (INES)

7	<p><b>Крупная авария</b>  <i>Авария на Чернобыльской АЭС, Украина, 1986 г.</i>          Взрыв и пожар на 4-м блоке. Непосредственно после аварии большие дозы облучения получили более 300 человек из персонала станции и пожарных. Окончательный диагноз острой лучевой болезни поставлен 134 человекам. Из них 28 скончались вскоре после аварии, в последующие годы умерли еще 13. Во время аварии 3 человека погибли от иных причин. Наибольшему загрязнению подверглись части территорий Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей</p>	<b>А В А Р И Я</b>	
6	<p><b>Серьезная авария</b>  <i>Авария на ПО «Маяк», Южный Урал, Россия, 1957 г.</i>          Тепловой взрыв емкости-хранилища высокорadioактивных отходов. Образование Восточно-Уральского радиоактивного следа. На основе оценок дозы облучения было принято решение об эвакуации и отселении 10 800 человек. Последствий облучения не выявлено.</p> <p><i>Авария на заводе Уиндскейл, Великобритания, 1957 г.</i>          Тепловой взрыв и пожар на газографитовом промышленном реакторе, служащем для наработки оружейного плутония. Облако радиоактивного выброса прошло над центральными районами Англии и достигло Европы</p>		
5	<p><b>Авария с риском за пределами площадки</b>  <i>Авария на АЭС Тримайлайленд, США, 1979 г.</i>          Тяжелая авария с расплавлением активной зоны реактора. При этом защитная оболочка не разрушилась, выброса радиоактивности за ее пределы не было</p>		
4	<p><b>Авария без значительного риска за пределами площадки</b>  <i>Авария на предприятии ЯТЦ Токаймура, Япония, 1999 г.</i>          Возникновение неуправляемой цепной реакции. Двое рабочих предприятия, непосредственно виновных в аварии, скончались от переоблучения. Незначительный выброс радиоактивности на территории предприятия. Более 300 тыс. человек, проживавших в 10-километровой зоне от завода, были временно эвакуированы</p>		
3	<p><b>Серьезный инцидент</b>  <i>Авария на Сибирском химическом комбинате, Томск, Россия, 1993 г.</i>          Взрывное разрушение одного из технологических аппаратов на радиохимическом заводе. Радиоактивное загрязнение производственных помещений, территории промышленной площадки РХЗ и соседних промышленных площадок. Переоблучения персонала и населения не было</p>		
2	<b>Инцидент</b>		Событие, важное для безопасности
1	<b>Аномалия</b>		
0	<b>Отклонение</b>	Несущественно для безопасности	

## 9.6. Чернобыльская авария. Как и почему это произошло?

Одним из наихудших возможных результатов радиационной террористической акции на АЭС может стать повторение Чернобыльской аварии, повлекшей за собой ущерб здоровью и психологические травмы тысяч людей, потерю энергоисточника, вывод из оборота сельскохозяйственных угодий, затраты на ликвидацию последствий аварии. Даже в условиях отсутствия значительного выброса радиоактивности долговременная остановка энергоблока способна вызвать большие экономические и социально-политические потери.

Спустя вот уже 21 год Чернобыльская авария притягивает внимание общественности. Особенно наглядно это демонстрируют материалы, связанные с изучением ее причин. К настоящему времени выдвинуто уже свыше 110 версий, среди которых есть и научно обоснованные, и спорные, и откровенно фантастические. Перечислим некоторые из них: диверсия, землетрясение, ядерный взрыв накопленного плутония, просто ядерный взрыв, ядерный взрыв в подпрыгивающем реакторе, реактор, летающий в стратосфере, бесовская сила Чернобыля-2 и т. д.

Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) разработана и с 1990 года внедрена в России Международная шкала событий на АЭС, которая включает 7 уровней. Все страны обязаны в течение 24 часов сообщать МАГАТЭ о любых событиях, квалифицируемых на уровень 2 или выше по этой шкале.

Аварии, связанные с радиацией, могут произойти, если разрушится реактор, нарушится герметичность первого контура. Для предотвращения подобных аварий существует специальная система аварийной защиты, которая должна остановить цепную реакцию и предотвратить разрушение реактора из-за перегрева. Если авария произойдет, то на пути радиоактивных продуктов встанут многочисленные барьеры, которые ограничивают их выход в окружающую среду. Так что в целом реактор является хорошо защищенной системой.

То, что это действительно так, подтверждает следующий факт.

В мире более чем за 50 лет функционирования атомной энергетики произошло две аварии со значительным выбросом радиоактивности – авария в Англии в Уиндскейле в 1957 году ( $7 \cdot 10^{11}$  Бк) и авария в Чернобыле в 1986 ( $2 \cdot 10^{18}$  Бк). Обе аварии произошли на реакторах с графитовым замедлителем. В обоих случаях аварии сопутствовал пожар из-за возгорания графита. На водо-водяных энергетических реакторах за 7 000 реакторо-лет (такой величиной измеряется сегодняшний опыт эксплуатации) не было ни одного случая значительного выброса. Авария на АЭС «Три-Майл-Айленд» в США привела к частичному расплавлению

активной зоны, но выброса в окружающую среду практически не было. Концепция глубоко эшелонированной многобарьерной защиты от источников радиации показала здесь свое совершенство.

Несколько подробнее коснемся аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд».

Вследствие грубейших ошибок персонала перегрелись и частично расплавились тепловыделяющие элементы. Однако конструкция внешней оболочки выдержала и никаких разрушений не произошло. Выброс радиоактивности оценивается в  $9 \cdot 10^{16}$  Бк, но она не вышла за пределы защитной зоны. Три сотрудника получили дозу втрое меньше той, которую большинство из нас ежегодно получает при прохождении флюорографии. Реальные расходы компании, потерявшей энергоблок, оцениваются в 2 млрд долл. Интересно сравнить этот выброс с тем выбросом радиоактивности, который произошел при извержении вулкана Сент-Хемис 18 мая 1980 года. Природа сама рождает радиоактивность, и при извержении было выброшено  $1,1 \cdot 10^{17}$  Бк – даже больше, чем при аварии на АЭС. Причем в выбросах вулкана радиоактивность была образована радием, торием, полонием, свинцом, калием, которые биологически потенциально более опасны.

Реактор РБМК, установленный в Чернобыле, относится к классу так называемых уран-графитовых реакторов. Тепловая мощность реактора 3200 МВт, электрическая – 1000 МВт. В реакторе РБМК в качестве замедлителя нейтронов применен графит, топливом служит двуокись урана, для охлаждения твэлов используется кипящая вода.

Перед остановкой четвертого блока ЧАЭС на плановый ремонт в пятницу, 26 апреля 1986 г., при проведении испытаний произошла Чернобыльская катастрофа.

В докладе экспертов, привлеченных МАГАТЭ из разных стран для анализа причин аварии на ЧАЭС, сказано: «Серия преднамеренных нарушений процедуры управления, чрезвычайных самих по себе, в сочетании со специфическими конструктивными особенностями реактора при работе на малой мощности, привела к катастрофе». Основным фактором, определившим масштабы последствия, – это положительный паровой эффект (т. е. быстрый рост мощности при вскипании теплоносителя), проявившийся при наложении ряда грубых ошибок персонала. Во многом этому способствовала неудачная конструкция систем глушения реактора, которая имела возможность в начальный момент вносить положительную реактивность и служить инициатором разгона реактора.

Последствия аварии были в 3–4 раза увеличены возгоранием графита в реакторе.

Несмотря на грубейшие ошибки персонала, физической причиной аварии явился положительный паровой коэффициент реактивности

Чернобыльского реактора РБМК в состоянии на малой мощности, в котором он оказался при подготовке к проведению эксперимента. При положительном коэффициенте реактивности увеличение количества пара вызывает увеличение мощности, за ростом мощности следует увеличение паросодержания и т. д., происходит стремительный разгон реактора.

Чернобыльский реактор в состоянии перед аварией был подобен человеку, находящемуся над пропастью: чуть подтолкни его или просто оступись – и трагедия неизбежна. А на физическом языке это означает, что система неустойчива, флуктуация мощности или паросодержания может быть причиной развития аварийного процесса.

К сожалению, широкой и открытой экспертизы безопасности ЧАЭС с объективным рассмотрением свойств самозащищенности реактора не проводилось.

Не все знают, когда и с чего началась эта авария – с безобидного звонка диспетчера республиканской энергосистемы за сутки до взрыва, настойчиво просившего из-за острой нехватки мощностей отложить остановку четвертого блока на плановую перегрузку топлива. Выгоревшая, выдохшаяся, забитая под завязку радиоактивными шлаками активная зона реактора должна была протянуть еще 24 часа. Уже еле тлевшую цепную реакцию персоналу пришлось «раздуть», форсировать методами, запрещенными регламентом эксплуатации. Манипулируя управляющими стержнями в недопустимых масштабах, они фактически слепили из РБМК другой аппарат и именно на нем начали в ночь на 26 апреля эксперимент с выбегом генератора. Насколько этот реактор отличался от стандартного РБМК, ясно по результату: когда в последний момент оператор нажал на кнопку АЗ-5, после чего РБМК должен встать – и всегда вставал – как вкопанный, этот реактор пошел в разгон и взорвался...

Авария произошла не при нормальной эксплуатации реактора, а во время эксперимента, проведение которого было навязано эксплуатационному персоналу, хотя это вовсе и не входило в его функциональные обязанности.

Причины «организационного» характера связываются не столько со спецификой РБМК, сколько с общими особенностями развития атомной энергетики СССР в 80-е годы. В современных понятиях безопасности эти причины формируются следующим образом:

- низкий уровень «культуры безопасности» при эксплуатации, когда персоналом не осознается опасность не регламентных действий;
- слабая надзорная деятельность, не позволившая выявить и устранить серьезные недостатки в эксплуатации и технических решениях по проекту РУ, запущенному в серийное производство.

Почему персонал реактора нарушил основные требования техники ядерной безопасности? По-видимому, имелось несколько причин:

1. Психологически персонал реактора не был подготовлен к возможности возникновения аварии, т. к. в течение длительного времени работали вполне нормально.
2. Возникшая самоуспокоенность автоматически была перенесена на нештатную (испытание) работу реактора.
3. В связи с четкой работой реактора (что породило миф о его полной надежности) реактор постепенно превратился с точки зрения обслуживающего персонала в заурядный технический агрегат.
4. Производственная дисциплина должна была неукоснительно выполняться, но она должна обязательно опираться на глубокие профессиональные знания.

Вплоть до чернобыльской аварии общественное мнение было настроено благоприятно по отношению к развитию ядерной энергетики, однако общественное понимание сложности и потенциальной опасности ядерных технологий полностью отсутствовало. Чрезмерная лакировка положительных особенностей АЭС для общественности привела к трагическим последствиям для самой отрасли.

Вопросы безопасности не получили всей полноты внимания, которой они заслуживали, а были подчинены конъюнктурным, политическим и производственным целям. Ответственные за ядерную безопасность органы играли второстепенную роль. Операторы не были подготовлены к работе в аварийных условиях.

Не был учтен, как следовало бы, международный опыт в области реакторной безопасности, а также отсутствовало международное сотрудничество по вопросам безопасности.

Фактически эти реакторы РБМК рассматривались в качестве уникальных и не подлежащих лицензированию вне пределов страны.

Государственная пропаганда и цензура, пропускавшая в печать только хвалебные статьи о ядерной энергетике, сыграла двоякую роль: с одной стороны, успокоила население, которое не имело никакой другой информации, с другой стороны, успокоила и персонал.

Получило распространение «панибратское» отношение к сложной и потенциально опасной технике.

В то же время в среде специалистов одновременно шли острые дискуссии о путях развития энергетики, росла тревога об обеспечении безопасности при массовом строительстве АЭС, но их голос легко игнорировался.

Бывшие руководители атомной промышленности, которые подверглись резкой критике за оптимистическую оценку безопасности

АЭС, никого не пытались ввести в заблуждение! Их уверенность основывалась на том, что аварийность на АЭС невелика. В среднем погибал 1 человек в два года, а наша национальная норма, не вызывающая ни у кого возражений, – 200 тыс. человек в год.

Урок Чернобыля – это не только урок опасности атомной энергетики, но и урок опасности некомпетентности в современном мире. Большинство людей в Чернобыле пострадали не столько от самой радиоактивности, сколько из-за неумения обращаться с ней в экстремальных условиях. В Чернобыле не оказалось профессионалов по ликвидации аварии, потому что их не было в стране.

Это относится ко всем сферам нашей жизни. Мы «пропадаем» не без атомной энергетики, а без высококомпетентных специалистов.

Без доверия к экономистам, не прислушиваясь к их советам, экономика дойдет до коллапса. Дело заключается главным образом не в законах и структуре власти, а в наполнении эшелонов этой власти энергичными и компетентными людьми, для которых высшим мерилем истины является логика расчета, исторического, социального и научно-технического знания.

Отечественная и, главным образом, зарубежная практика показывают, что только надежная и безопасная эксплуатация АЭС, а также наличие у населения оперативной и полной информации о ее работе будут способствовать укреплению доверия к ядерной энергетике.

О Чернобыле нельзя забыть. О нем нужно помнить, как и о тех, кто отдал свои жизни и здоровье для того, чтобы уменьшить последствия аварии.

Но в качестве пугала, используемого либо в своих личных – корыстных, либо в политических интересах, это событие использовать не только противопоказано, но и преступно.

Стратегические планы развития ядерной отрасли не получают одобрения общества до тех пор, пока будет существовать столь масштабный разрыв между научным знанием и общественным мнением в отношении последствий Чернобыля.

Разброс оценок масштаба чернобыльской катастрофы поражает. Отечественные ученые говорят о нескольких десятках смертей, журналисты – о десятках и сотнях тысяч, «зеленые» – о миллионах. Так, лидер российской антиядерной оппозиции А. Яблоков указывал на одно из пагубных последствий чернобыльской радиации – на рост заболеваемости СПИДом в США, не поясняя при этом, почему сами американцы не обеспокоились данным фактом.

В сентябре 2005 года в Вене состоялась заключительная конференция Чернобыльского форума. На ней были представлены отчеты по медицинским последствиям и воздействию на окружающую среду, подго-

товленные международными экспертами. В зале заседаний присутствовало более 300 участников из 52 стран и 10 международных организаций.

Одним из важнейших итогов представленного отчета является вывод о том, что структура заболеваемости населения на пострадавших территориях по-прежнему аналогична заболеваемости, которая наблюдается в других частях бывшего Советского Союза. Продолжительность жизни, особенно мужчин, существенно ниже, чем в Западной и Южной Европе, причем главными причинами смертности являются сердечно-сосудистые заболевания и травматизм, за ними следуют онкологические заболевания (кстати, такая ситуация наблюдается не только на территориях, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС). Ведущими факторами здесь являются низкие семейные доходы, деморализация, плохое питание, злоупотребление алкоголем и курением. Большинство врачей на вопрос, какие меры способствовали бы в первую очередь улучшению здоровья населения, отвечали: «улучшение структуры питания и условий жизни».

Общее число задействованных на ликвидации чернобыльской аварии людей составило ~227 тыс. человек. На сегодня в результате аварии погибло 43 человека, количество заболевших ОЛБ – 134 человека. На 2005 г. в Украине, Белоруссии медиками поставлен диагноз рака щитовидной железы ~2 000 человек. К счастью, этот рак достаточно хорошо лечится. Это заболевание – единственное основополагающее радиологическое последствие аварии. Большая часть населения подверглась облучению в низких дозах с малой мощностью. До настоящего времени не зафиксировано увеличение общей заболеваемости злокачественными опухолями или смертности, которые можно было бы отнести на счет действия радиационного облучения.

Всего за последние без малого 60 лет атомной эры в нашей стране заболели ОЛБ 344 человека, включая моряков-подводников, из них 71 человек умер. Неблагоприятные симптомы выявлены у 568 человек, среди них – 434 чернобыльца.

Таковы на сегодня данные официальной медицинской статистики.

Познакомим читателя с основными выводами отчета Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР) «Человеческие последствия атомного инцидента в Чернобыле»:

- а) Воздействие радиации на здоровье людей оказалось меньшим, чем предполагали раньше.
- б) Больше вреда принесло переселение людей из пострадавших районов: разрушены семьи, безработица среди вынужденных мигрантов, депрессии и болезни, вызванные стрессом.
- в) Льготы, отпуска, продовольственная и медицинская помощь, которые получают жертвы Чернобыля, сделали их зависимыми от государства и воспитали в них чувство фатализма и пессимизма.

г) До сих пор нет международно-признанных свидетельств повышения частоты заболевания лейкозом среди населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, а также среди тех, кто работал на восстановлении атомной станции. Нет статистически значимых свидетельств роста и других раковых заболеваний, а также рождения детей-уродов. Большая часть фотографий младенцев с врожденными дефектами, которые были использованы западными благотворительными организациями для сбора пожертвований, на самом деле являются фотографиями тех, заболевания которых не имеют ничего общего с Чернобылем.

Напомним, что в Японии более 60 лет назад сотни тысяч людей при взрыве атомных бомб в доли секунд получили смертельные дозы в тысячи зивертов. И около 90 000 тех, кто находился на большом расстоянии от взрыва, и получили дозу до 1 зиверта (чернобыльцы получили до 0,1 Зв), выжили.

Сегодня их до сих пор наблюдают в японских клиниках. У многих из них есть болезни: радиационные ожоги, катаракты, поражения половой системы. Но что касается потомства, то обследования показали, что риск возникновения генетических последствий после атомных бомбардировок крайне маловероятен. Даже за 60 лет обследования пострадавших не было зарегистрировано ни одного случая генетического дефекта в последующих поколениях, хотя дозы в Хиросиме и Нагасаки были выше на порядок и более, чем в Чернобыле.

Сначала опасались, что из поколения в поколение будет передаваться рак. Но медицинские наблюдения показали, что даже лейкозы, которые должны были бы случиться спустя 2–3 года после облучения или проявиться во втором-третьем поколениях, не зарегистрированы. Потомки пострадавших в 1945 году здоровы. Объективный статистический анализ не выявил ни повышения смертности, ни уменьшения рождаемости ни в одной категории лиц, подвергавшихся облучению, по сравнению с теми же показателями у необлученных.

На сегодня почти повсеместно, за исключением наиболее загрязненных территорий, мощность дозы возвратилась к фоновому уровню, бывшему до аварии. За пределами зоны отчуждения каких-либо тяжелых последствий для растительного и животного мира не было отмечено.

Мировой опыт свидетельствует, что радиационные катастрофы всегда оставляют после себя социально-психологические последствия, выраженность которых не зависит от степени истинной загрязненности окружающей среды. И проявляется это конкретно в том, что в сферу стрессового воздействия чернобыльской катастрофы оказалось вовлечено значительно больше людей, чем непосредственно пострадало от радиационного фактора.



И сегодня, спустя 21 год после аварии, люди считают радиационный риск столь же значимым для их здоровья, как и социально-экономические факторы, и более значимым, чем повседневные риски в быту или на работе.

Восприятие радиационного риска не зависит от реальной степени радиационной опасности, которая с годами уменьшается. В этой связи специалисты справедливо считают, что в случае отсутствия такой информации, а тем более запрета на публикацию данных о реальной экологической обстановке в пострадавших районах также может усилиться стресс.

В свою очередь, постоянное предоставление достоверной и взвешенной информации хотя и воспринимается людьми как «надоедливое жужжание», но способствует уменьшению стресса, что следует иметь в виду как журналистам и руководителям средств массовой информации, так и главам администраций.

Радиационная обстановка после Чернобыльской аварии определялась выбросом йода-131, цезия-137 и стронция-90.

Главная опасность цезия-137 и стронция-90 состоит в том, что они имеют самый большой период полураспада из всех продуктов деления, – около 30 лет. Однако, как известно, чем больше период полураспада изотопа, тем ниже его активность. Основной же ущерб здоровью нанесли выбросы йода-131 (его период полураспада равен 8 дням), который вызывает рак щитовидной железы. Средство для защиты от него хорошо известно: это прием препаратов йода, который попадает в щитовидную железу, благодаря чему радиоактивный йод в щитовидную железу уже не попадает, а выводится из организма. (Сегодня многие люди, краем уха слышавшие о таком способе защиты, при очередном слухе о происшествии на ядерном объекте начинают в неумеренных количествах потреблять йод, как это имело место в ноябре 2004 г. в Балаково, где распространился ложный слух об аварии на Балаковской АЭС).

Сразу же после чернобыльской аварии необходимо было обеспечить специальными йодными препаратами все население в районах, прилегающих к месту аварии. Увы, эта мера была реализована слишком поздно, поэтому среди местного населения было зафиксировано порядка 2 000 случаев рака щитовидной железы из-за попадания в организм йода-131. К счастью, в подавляющем большинстве случаев это заболевание имело легкую форму, поэтому количество летальных исходов исчисляется единицами.

Теперь конкретно о цезии и стронции. Из-за большого периода полураспада этих изотопов именно они дают максимальную поглощенную дозу. Опасность, например, стронция заключается в том, что он является химическим аналогом кальция и поэтому задерживается в костях. Основную опасность эти изотопы представляют не во время их нахождения во внешней среде, а при попадании в организм, где они могут накапли-

ваться. Но в случае с Чернобылем страхи относительно цезия и стронция преувеличены. У жителей загрязненных территорий полученная доля цезия составляет максимум 5 бэр, а стронция – не более 1 бэра. Опасными являются дозы выше 100 бэр, полученные в течение всей жизни.

Плутоний опасен в первую очередь своим  $\alpha$ -излучением. Если сравнить три вида излучения –  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение – по биологическому действию, то их опасность зависит от того, находится ли источник излучения внутри или вне организма. Как известно,  $\alpha$ -излучение от внешних источников практически не представляет никакой опасности, поскольку пробег  $\alpha$ -частиц в воздухе составляет всего несколько сантиметров, к тому же одежда их полностью задерживает. Пробег  $\beta$ -частиц в воздухе уже значительно больше, но наибольшую опасность все-таки представляет внешнее  $\gamma$ -излучение.

В то же время для радиоактивных изотопов, попавших внутрь организма, все обстоит наоборот: наибольшую опасность представляют именно  $\alpha$ -излучатели. Поэтому  $\alpha$ -активный плутоний при попадании в организм даже в небольших количествах может привести к возникновению злокачественных опухолей или даже к летальному исходу. Данные последствия могут возникнуть, если доза будет превышать 200 бэр. А такие дозы могут наступить в том случае, если концентрация плутония в легких в 10 раз превысит допустимую норму.

Если бы плутоний не был радиоактивным, то его токсичность принципиально не отличалась бы от большинства других металлов и его смертельная доза исчислялась бы граммами. Именно из-за своей радиоактивности плутоний становится опасным при попадании в организм даже в микрограммовых количествах.

Что же касается выброшенных во время взрыва урана и плутония, которые оказались в почве, то они там продолжают оставаться, но, как уже отмечалось, в организм практически не попадают. На том же «Маяке» в ходе произошедшей там почти полвека назад аварии было выброшено много радиоактивных изотопов, и, как показали исследования, каждый из них нанес биологический вред, от плутония вред же был минимальным. Если цезий и стронций даже в мизерных количествах могут нанести большой вред, то в случае с плутонием все обстоит как раз наоборот – даже если имеют место его выпадения, то биологический ущерб от него не велик.

К счастью, среди людей, проживающих на загрязненных территориях, плутоний в организме ни у кого не обнаружен. Спасает то обстоятельство, что он плохо усваивается организмом: если, например, плутоний или его соединения попадут в желудок, то всосется не более 1 % от поступившего вещества, а остальное количество будет выведено из организма. Таким образом, плутоний организмом не воспринимается, а, попав туда, очень быстро выводится почти полностью.

### **9.7. Первоочередные задачи защиты общества от угроз и последствий радиационного терроризма. Социальные аспекты [16]**

В связи с угрозами радиационного терроризма (РТ) перед международным ядерным обществом стоят следующие задачи:

- интенсификация работ по учету и регистрации источников ионизирующего излучения (ИИИ);
- разработка дополнительных требований к обеспечению безопасности при их хранении и использовании;
- создание системы реагирования, способной свести к минимуму последствия акта радиационного терроризма;
- формирование адекватного восприятия обществом радиационной опасности как таковой.

Последняя задача имеет особое значение в проблеме радиационного терроризма.

Именно страх перед радиацией делает общество крайне уязвимым перед угрозой РТ. На это и рассчитывают в первую очередь потенциальные террористы. В совокупности с общедоступностью приборов для детектирования самого незначительного повышения радиационного фона этот страх делает систему в целом существенно неустойчивой: при малейшей угрозе теракта с применением источников радиации срабатывают механизмы социального усиления риска. В этом случае величина косвенного ущерба от вызванной страхом неадекватной поведенческой реакции неизбежно превзойдет все последствия от собственно радиационного облучения. Особенно быстро эпидемия страха может распространяться по густонаселенным регионам с развитыми средствами связи, ставя под угрозу всю систему общественной жизнедеятельности.

Как бы трагично ни было потрясшее общество событие, обычно острая первичная реакция через некоторое время возвращается к норме, проходя последовательно через стадии «принятия» события, скорбь, нормализацию жизни и, наконец, забвение. Особенность ситуаций, связанных с радиационным воздействием, – масштабное социальное последствие, растягиваемое на годы. Как показывает опыт радиационных аварий, управление риском, построенное на неадекватном общественном восприятии опасности, ведет как к затягиванию, так и к масштабированию проблемы. Результатом такого регулирования являются претензии по ущербу здоровью, которые могут предъявляться в течение всей последующей жизни не только получившими сверхнормативные дозы, но и множеством людей, причастных к событию только косвенно.

Специалистам хорошо известно, что в случае использования ИИИ в террористических целях массовая гибель людей из-за радиационного поражения невозможна. Прямые потери связаны в основном с мощностью того взрывного устройства, которое используется для распыления ИИИ. Неадекватная оценка людьми опасности чревата гораздо более масштабными последствиями:

- потерей человеческих жизней и здоровья в результате паники;
- экономическим ущербом от нарушенной инфраструктуры;
- потерями для бизнеса в самом регионе и за его пределами;
- потерей экономической привлекательности территории;
- затратами на социально-психологическую реабилитацию населения;
- расходами на проведение дополнительных мер защиты, достаточных для успокоения общественности (контроль продуктов питания, медицинское наблюдение, переселение);
- выплатой необоснованных с радиологической точки зрения компенсаций за ущерб здоровью от повышенного уровня радиации и т. п.

Преувеличение этих последствий обходится очень дорого, и не только в финансовом плане. Кроме того, усиливается негативное отношение населения к ядерным технологиям.

Для повышения защищенности общества от угроз радиационных террористов, как и для повышения способности общества преодолевать их последствия с минимальными потерями необходима активная работа с общественностью, представителями средств массовой информации, руководителями различных уровней по формированию объективного восприятия радиационных рисков и адекватной поведенческой реакции. Чтобы правильно построить эту работу, важно понять причины формирования и механизмы воспроизведения неадекватного общественного мнения.

Образовавшийся большой разрыв между обыденным и научным экологическим сознанием привел к тому, что страх перед радиацией постоянно воспроизводится.

Один из источников неадекватного восприятия риска – существующая нормативно-правовая база. Возобладавший в постчернобыльский период популизм стал причиной того, что в России законодательно были закреплены неоправданно жесткие санитарные нормы, соблюдать которые не могут позволить себе даже более развитые страны. В результате небольшое превышение над нормативами, вполне безвредное для здоровья и приемлемое для жителей большинства западных стран, становится источником серьезного беспокойства.

Свою лепту вносит и чернобыльское законодательство, гарантирующее компенсацию ущерба здоровью жителей, для которых уровень дополнительного облучения заведомо меньше естественных колебаний природного фона.

Еще один путь воспроизведения массовых стереотипов – недобросовестная реклама. Например, производители дозиметрического оборудования настойчиво убеждают население в том, что смертельно опасная радиация подстерегает их повсюду.

Вместо того, чтобы рассматривать радиационный риск в рамках единой шкалы факторов техногенной опасности, общественные экологи противопоставляют его всем остальным факторам риска как самый опасный. Такое образование «воспроизводит» в новых поколениях граждан убежденность в абсолютной неприемлемости «рукотворной» радиации.

В таком же ключе «просвещают» широкую публику и средства массовой информации. Выпячивая опасность радиационного фактора, журналисты, с одной стороны, выражают общественные настроения, а с другой – определяют их. Трудно переоценить роль СМИ в формировании общественного ответа на радиационный теракт, поскольку современные радио и телевидение, газеты и журналы отличает колоссальное внимание к негативно разворачивающемуся событию, что передается и населению.

Хорошо известно, что внимание прессы спровоцировало панику при практическом отсутствии риска для здоровья населения и в случае аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд», и в ситуации с «коровьим бешенством». Однако при грамотно организованном взаимодействии СМИ могут оказать неопределимую помощь в овладении и управлении кризисной ситуацией.

Общество считает приемлемым риск, связанный с сильным загрязнением атмосферного воздуха в городах. В России с этим риском связано до 80 млн человек, из числа которых до 40 тыс. ежегодно умирают. Радиационный риск для населения, проживающего в пределах чернобыльской зоны отселения, в десятки и сотни раз меньше: на 100 тыс. человек под риском гипотетически может реализоваться примерно восемь смертей в год в предположении о справедливости линейной беспороговой гипотезы биологического действия радиации.

В связи с этим вопрос создания своего рода эффективной физической защиты является важнейшей задачей предотвращения радиационного терроризма. Когда речь идет о физической защите радиоактивных материалов, как правило, подразумевается защита ядерного оружия, его компонентов или ядерных материалов. Иначе говоря, таких материалов, из которых возможно изготовление реального ядерного оружия. Несмотря на многочисленные публикации о недостатках физической защиты объектов, на которых находятся подобные материалы, следует отметить, что защита существует и достаточно эффективна. Что бы ни писали и ни говорили, какие бы слухи ни распространяли, эта защита вполне эффективна. В противном случае мы бы давно имели печальную возможность убедиться в обратном.

Поэтому особое значение приобретает система контроля и учета ВСЕХ источников ионизирующего излучения, основанная прежде всего, в целом, на НЕЗАВИСИМЫХ от человеческого фактора принципах. До сих пор контроль за хранением, передвижением источников осуществляется т. н. бумажным способом: заявка на источник, запись в журнале и т. д. Как показывает опыт, зачастую пропажу источника или задержку в его возврате обнаруживают лишь в процессе инвентаризации. Такая инвентаризация может проходить раз в полгода – год. Можно представить себе, что может происходить с источником в интервале между очередными инвентаризациями. Кроме того, «добыть» или заменить такой источник большого труда не составляет.

Существующие подходы в создании современных технических средств и принципов организации физической защиты ядерных материалов могут быть адаптированы к условиям контроля за нераспространением радиоактивных материалов. Естественно, что речь не идет о полной физической защите, начиная с охраны периметра объекта до мер по противодействию террористической атаки на объект. Речь, в первую очередь, должна идти о технических средствах, фиксирующих всю «жизнь» источников ионизирующих излучений с момента их поступления на объект для использования, процесс хранения, выдачи, возврата и т. д. вплоть до утилизации.

Таким образом, степень защищенности общества от угроз радиационного терроризма, как и тяжесть косвенных последствий совершенного теракта, во многом определяется адекватностью общественной реакции. Формирование адекватного ответа – одна из основных задач в обеспечении безопасности. Целенаправленная работа в этом направлении может рассматриваться как эффективная превентивная мера, которая не требует особенно больших затрат.

Однако нельзя недооценивать ее сложность: проблемы информирования населения по вопросам радиационного риска требуют не только профессионального подхода на стыке многих научных дисциплин, но и учета особенностей восприятия наукоемкой информации непрофессиональными аудиториями, то есть дифференцированного подхода к каждой целевой группе. Скажем, информация для лиц, принимающих политические и экономические решения, должна включать не только данные по уровням радиационного риска и мерам защиты населения, но также по экономической эффективности этих мер, их социальной приемлемости и достаточности.

Для достижения цели необходимы не только серьезные усилия профессионального ядерного сообщества, но и соответствующая государственная информационная политика и согласованность подходов на международном уровне. Для этого абсолютно необходима консолидация усилий специалистов различных стран и международных организаций.

## 10. ИНФОРМАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕРРОРИЗМ [17–25, 31]

### 10.1. Экологический терроризм

Терроризм является частью экстремизма и вобрал в себя наиболее жёсткие методы достижения политических целей. Терроризм имеет много разновидностей. Он может быть классифицирован методом воздействия, таким как: угрозы, ультимативные требования, распространение мифов и панических слухов и т. д.

«Чем чудовищнее ложь, тем быстрее в неё поверит общество» – таков был принцип известного Йозефа Геббельса.

«Правда настолько драгоценна, что её должен сопровождать экспорт из лжи», – говорил Уинстон Черчилль.

Если с понятием «терроризм» все более или менее ясно, то дать определение прилагательному «экологический» далеко не просто. Дело в том, что без каких-либо оснований отказавшись от классического определения слова «экология», данного в 1866 г. его «родителем» немецким биологом Геккелем, и от толкований этого термина в словарях С. Ожегова и Н. Шведовой издания 1992, 1993, 1994 гг. и Большого толкового словаря С. Кузнецова 1998 г., наши современники, провозгласившие себя экологами, всячески уклоняются от четкого и доступного определения данного термина.

И даже в Федеральном законе «Об охране окружающей среды», вступившем в силу в декабре 2001 г. и несомненно улучшившем ранее действовавший аналогичный закон, в разделе «Основные понятия» не приводится определение понятия «экология», хотя и даются производные от него. Вместо прямого определения специалисты, называющие себя экологами, заявляют о том, что «экология» – это проблемно ориентированный «междисциплинарный комплекс знаний», а потому он не может иметь четкого определения. А раз так, наряду с благородными целями защиты растительного и животного мира, чистоты воздуха, воды и земли, определенная группа экологов-экстремистов в нашей стране повела борьбу с техническим прогрессом, использованием новых технологий и материалов. Некоторые из них, существуя за счет иностранных грантов, открыто ведут работу по подрыву российской экономики,

используют определение «эколог» для прикрытия осуществления разведывательной и другой подрывной деятельности.

После очередного анализа экологического творчества представителей «зеленых» и многочисленных обсуждений со специалистами в области естествознания и юриспруденции появилось следующее понятие: *ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕРРОРИЗМ – это применение химических, биологических или радиоактивных веществ, воздействие геофизическими полями на человека, группу лиц, население, животный и растительный мир, окружающую среду либо путем морально-психологического насилия, нагнетанием страха (ужаса), умышленным распространением научно необоснованных, недостоверных сведений (слухов) об опасности и последствиях такого применения или воздействия с целью получения выгод или нанесения политического, физического, морального, экономического ущерба.*

Иногда под экологическим терроризмом понимаются совершенно разные явления:

- деятельность или халатность, приводящая к ухудшению природной среды;
- радикальные акции «зеленых» в защиту окружающей среды;
- действия, направленные на умышленное загрязнение природной среды, или соответствующие угрозы с целью нанесения противнику экологического урона, например с помощью сжигания нефти. При этом выдвигаются политические, религиозные или идеологические требования.

Российские специалисты считают, что именно последняя трактовка наиболее соответствует содержанию понятия экологического терроризма. Такой вид терроризма еще более опасен, чем другие его разновидности, поскольку насильственные действия применяются к гражданам или их собственности опосредованно, через природную среду, где в дальнейшем существование человека будет затруднено или даже невозможно. Экологический терроризм приводит, как правило, к необратимым и трудно устранимым последствиям, которые могут иметь и глобальный характер. Достаточно напомнить, что при радиоактивном загрязнении окружающая среда может остаться непригодной для жизни на многие сотни, даже тысячи лет.

Примером того, как загрязнение окружающей среды может быть использовано в качестве оружия, стала война в Персидском заливе 1991 г. Уходя из Кувейта, армия Ирака умышленно повредила нефтепроводы и выпустила большое количество нефти в Персидский залив, в результате чего там погибли морские животные, рыбы и птицы. Иракские солдаты подожгли в Кувейте около 600 нефтяных скважин, вызвав пожары, продолжавшиеся почти год. По этой причине в регионе ежемесячно осажда-



лось около 800 тыс. т нефтяной сажи, выпадали серно-кислотные дожди. Экологическая обстановка была восстановлена лишь через два года.

Умышленное загрязнение окружающей среды может быть использовано не только в военных целях, но и как аргумент при отстаивании определенных прав. Так, в июле 2000 г. доведенные до отчаяния рабочие ликвидируемой текстильной фабрики на севере Франции вылили в реку 1000 л серной кислоты, что оказалось губительным для речной флоры и фауны. Их требования были выполнены администрацией в полном объеме. Это событие потрясло всю страну. Один из первых примеров экологического терроризма – разлив нефти в результате сознательных действий со стороны недовольных членов экипажа итальянского танкера «Лаура Д'Амато» в 2002 г. В гавани Сиднея вылили, по разным оценкам, от 14 до 80 тыс. л сырой нефти. Содеянное привело к серьезным экологическим последствиям.

Экологические диверсии особенно опасны на предприятиях атомной промышленности, и подобные попытки уже были предприняты. В начале 2000 г. безработный японец пытался взорвать ядерный завод в научном центре вблизи Токио. В ноябре 1995 г. был обнаружен контейнер с радиоактивным цезием-137 в Измайловском парке Москвы. Однако в настоящее время главные угрозы терроризма связаны с применением химического и бактериологического оружия, которое проще и дешевле в изготовлении и наиболее доступно террористам. И то и другое может быть применено не только для непосредственного уничтожения людей, но и для заражения продуктов, питьевой воды, водоемов, почтовых отправок, то есть всего, чем пользуется население.

Подобные действия не оставляют сомнений в их экотеррористическом характере. К экологическому терроризму можно также отнести случаи прямого уничтожения техногенноопасных объектов, препятствие проезду железнодорожных вагонов с нефте- и радиоактивными отходами, уничтожение посевов генмодифицированных культур, выпуск на волю животных из вивария и многое другое.

Касаясь случаев «зеленого» радикализма, отметим, что впервые они были зарегистрированы в середине 1990-х гг., но широкого распространения действия такого рода не получили. Международные эксперты предсказывают в недалеком будущем активизацию деятельности этих организаций и их переход к противоправным действиям, поскольку они не имеют другой возможности заставить правительства считаться с собой. Трудно сказать, какие формы обретет «зеленый» радикализм, какие методы возьмет на вооружение, но вторжение его в нашу жизнь становится опасным. Пока эти методы не приводили к человеческим жертвам, а если и наносили материальный вред в виде убытков или упущен-

ной выгоды, то только тем субъектам хозяйствования, которые своей деятельностью уже нанесли ущерб природе.

Отношение общественности к радикальным действиям «зеленых» неоднозначно и простирается в широком диапазоне от осуждения и отрицания до одобрения, основанного на том факте, что их намерения благородны, а противоправные действия случаются от государственного равнодушия к экологическим проблемам.

В последние десятилетия особенно широко в целях экологического терроризма используется страх людей перед возможностью радиационного поражения в результате воздействия на живые организмы и окружающую природную среду радиоактивными веществами. В основе такого страха лежит «искаженная временем и обстоятельствами общественная память о реальных ядерных и радиационных катастрофах, не имеющих, разумеется, никакой связи с радиационным терроризмом – начиная от Хиросимы и кончая Чернобылем».

Люди, взорвавшие четвертый энергоблок Чернобыльской АЭС, были плохими профессионалами, способными нарушить имевшиеся инструкции и регламент работы. Они, несомненно, не были террористами. Но вот результатом их преступных действий, выбросом в атмосферу большого количества радиоактивных веществ и последующим радиоактивным загрязнением значительных территорий Советского Союза и ряда других государств воспользовались экологические террористы, многократно преувеличившие реальную опасность произошедшего.

Разжиганием страха, возбуждением чувства обреченности среди больших контингентов населения, в той или иной степени затронутых чернобыльской бедой, отнесением ее происхождения на счет господствовавшей идеологии, политического и государственного строя СССР достигались преступные экономические и политические цели.

Первые предвестники начавшейся кампании экологического терроризма последовали из-за океана через два дня после взрыва в Чернобыле. 29 апреля 1986 г. по американской прессе пролетела «утка» о том, что в Чернобыле «общее число погибших может составить 2 000 человек, из которых 80 человек скончались сразу и около 2 000 – по пути в больницу. Для придания большей «достоверности» и нагнетания кошмара говорилось, что «людей хоронят не на обычных кладбищах, а в деревне Пирогово, где находится могильник для радиоактивных отходов».

Появившаяся 29 апреля официальная информация Москвы об аварии и о том, что погибло только 2 человека, уже ничего поправить не могла. Наоборот, в США было широко распространено заявление профессора Калифорнийского университета Гофмана о том, что последствием аварии будет заболевание раком до миллиона человек. Волна по-

добной дезинформации прокатилась по средствам массовой информации стран Европы и всего мира. Докатилась она и до СССР, заронив первые крупницы страха в души людей, проживающих в Украине, в Белоруссии и Брянской области.

Эта ложь далеко не безобидна и преследовала далеко идущую цель разжигания страха у населения к ядерным технологиям, к использованию атомных электростанций не столько в СССР, сколько в США и Западной Европе. Ее рождение в США связано с той конкурентной борьбой, которую вели крупнейшие западноевропейские нефтяные и газовые монополии с появившимся конкурентом – набирающей силу атомной энергетикой. Ради победы в этой борьбе и был применен метод запугивания населения, который, как видно из сказанного, носил явные признаки экологического терроризма.

Запугав федеральные власти и население радиационной опасностью, террористы добились желаемого результата – в США был введён мораторий на строительство новых атомных электростанций. К этому времени на 31 промышленной площадке уже действовало 103 энергоблока, которые успешно работают и сегодня. С 1990 г. производство электроэнергии на АЭС в США возросло на 39 %, что эквивалентно вводу в строй более чем 26 атомных энергоблоков при средней себестоимости 1,66 цент/кВт·ч. (Для сравнения – средняя себестоимость её производства на электростанции на природном газе в 2005 г. равнялась 7,5 цента за кВт·ч).

Более того, в «Национальной энергетической стратегии Америки» будет поддержано опережающее развитие атомной энергетики в США.

В Западной Европе распространители радиационных страхов также добились определенных успехов, затормозив развитие атомной энергетики. Лишь Франция сумела преодолеть преступные потуги экологических террористов. Не удалось вызвать страх у населения перед атомной энергетикой и в Японии.

В 1987 г. в СССР политическая обстановка меняется: проводится политика гласности, воспринятой как вседозволенность и безответственность за информацию.

Советские СМИ по степени нагнетания обстановки и дезинформации населения намного перегнали западные. Получая гранты и указания из-за рубежа, дезинформируя и запугивая население страны последствиями чернобыльской беды, «Гринпис» и ряд других организаций экологического толка в РСФСР и других союзных республиках начали реализовывать далеко идущий заморский план подрыва советского политического, экономического и оборонного потенциала.

«Чернобыльская карта» усиленно разыгрывалась появившейся прослойкой советской буржуазии так называемыми «демократами», кото-

рые рвались к захвату власти в стране в борьбе за депутатские мандаты всех уровней, добиваясь политической популярности устрашением населения радиационной опасностью, якобы исходящей от атомной энергетики, атомных технологий и ядерного оружия, они требовали от органов власти отказа от них.

Многие из родоначальников экологического терроризма (А. Яблоков, С. Шушкевич, Б. Немцов, Н. Воронцов, М. Лемешев и др.) сумели добиться депутатских мандатов в различного уровня советы, занять руководящие посты в правительственных и общественных организациях. Не обошлись без нагнетания радиационного безумия и националисты, стремившиеся посорить советские народы и развалить СССР. Писатель А. Адамович без зазрения совести связывал чернобыльскую трагедию с советским, московским, коммунистическим геноцидом белорусов. Украинцы Ю. Щербак, А. Яворивский и др. убеждали население, что атомная энергетика насильно внедрена на Украине русскими «коммуняками», дабы нанести ущерб украинской нации. Журналистка А. Ярошинская, доказывая подобную чушь, сновала по Житомирщине, отыскивая детей-уродцев, уродливых телят, жеребят, поросят, патологию которых она приписывала влиянию чернобыльской радиации... Трудно оценить вред и морально-психологический урон публицистической деятельности этой дамочки. Запугивая украинских женщин, она безжалостно нагнетала обстановку. В результате невозможно сосчитать число нерожденных младенцев.

В программе борьбы за отделение Литвы от СССР одним из главных требований было немедленное закрытие Игналинской АЭС, а борцы за национальную независимость Армении устроили национальный праздник в день остановки ядерных энергоблоков Армянской АЭС. Правда, Игналинская АЭС по-прежнему надежно работает, а армяне грандиозным праздником отметили повторный пуск ядерного энергоблока.

В целом же экологическим террористам удалось нанести существенный урон экономике СССР и России. По требованию обманутого населения на разных стадиях строительства и проведения проектно-изыскательских работ федеральным правительством и местными властями было приостановлено сооружение энергоблоков общей мощностью 109 млн кВт. Нанесенный ущерб народному хозяйству был оценен в несколько десятков миллиардов долларов.

Так, в течение 10 лет консервации Волгодонской АЭС государство несло более 10 млн долл. убытков в год.

Как любой террористический акт, экологический терроризм нуждается в поддержке со стороны средств массовой информации. Именно способность доносить в кратчайшее время любые сведения до миллионов людей делает СМИ необходимым элементом осуществления террористи-

ческих преступлений. Поэтому если СМИ перестанут распространять информацию о террористических актах, последние потеряют смысл.

Хорошо также известно, что на все свои акции антиатомные заговорщики и экологические террористы приглашают представителей СМИ. Очень важно, чтобы журналист, освещая такие акции, не переступил почти не различимую черту и не превратился из источника информации о событии в его соучастника. К сожалению, достаточно часто ради завоевания популярности эта черта не останавливает журналиста. Примером может служить телепрограмма А. Караулова «Момент истины» от 27 июля прошлого года. Почти всю передачу А. Караулов запугивал несведущих телезрителей. Можно не сомневаться, что он отработывал предвыборный заказ антиатомного лобби, загоняя в души миллионов людей страх перед ядерной энергетикой. В противном случае он не стал бы обсуждать надуманную проблему роста раковых заболеваний в Удомле, прекрасном городе калининских атомщиков, со строителем, пусть и заслуженным, а не с врачом-онкологом. И о значении для обороны страны Тоцких учений 1954 года ему следовало говорить не с небезызвестным «сыном юриста», а с профессиональным военным. Более того, стараясь вселить жителям Челябинской области страх перед радиацией, А. Караулов перешел грань, отделяющую людей от нелюдей. На глазах телезрителей всей страны музыковед Караулов вынес смертельный приговор запуганной маленькой девочке Сашеньке Сысоевой, произнеся загробным голосом: «Хочется верить, что Саша Сысоева ничем не больна, тем более неизлечимо. Но надежды на это практически нет». Не одна Саша, а ее подруги, тысячи детей и их родителей, глядя на экран с пухленьким благочестивым дядей, со страхом невольно подумали о себе и, возможно, почувствовали себя не совсем здоровыми. А слухи из передачи А. Караулова поползли по умам. Своей передачей он преподнес пример чистейшего экологического терроризма. История человечества знает много фактов использования ядов, отравляющих веществ, токсинов, вирусов, радиоактивных веществ, разного рода излучений в упомянутых террористических целях. В последние годы особенно широко используется страх перед возможностью радиационного поражения в результате воздействия на живые организмы радиоактивных веществ. Участвующие в заговоре против ядерной энергетике экологические террористы делают максимум возможного для его нагнетания.

В качестве примера можно привести акцию, проведенную ими в Ростовской и Волгоградской областях. Не сумев помешать завершению строительства и вводу в эксплуатацию Волгодонской АЭС, они ухитрились без всяких на то оснований, путем распространения лживых слухов посеять панику в Ростове и Волгограде. Так, по улицам Ростова ездили автомобили, из которых по громкоговорителям населению предлагалось принимать

йодные препараты, ходить с противогазами, запастись дозиметрами и не выпускать детей на улицу. В результате все йодные химикалии, имевшиеся на местном рынке, были раскуплены, а в медицинские учреждения поступили больные с ожогами и отравлениями йодом. А в Волгограде дело дошло до того, что местный митрополит призывал верующих молить Бога, «чтобы облако не пролилось на нас смертельным дождем».

Налицо факт осуществления экологического терроризма. Попытка посеять панику среди местного населения была предпринята и в Воронеже. Экологические террористы, оставаясь в тени, через местные средства массовой информации распространили абсолютно безосновательный слух о возможности затопления Нововоронежской АЭС и повторения подобия чернобыльской катастрофы в Воронеже. И хотя это кажется весьма странным, ни в Ростове, ни в Волгограде, ни в Воронеже экологические провокаторы найдены не были и наказания за необоснованное запугивание населения никто не понес.

Анализируя результаты действий участников заговора против ядерной энергетики России, обнаруживаешь в них признаки состава преступления, соответствующие статье 205 Уголовного кодекса РФ.

(Так, в декабре 2001 г. в программе НТВ «Сегодня» первый руководитель Социально-экологического союза А. Яблоков признался: «Я давно занимаюсь экологическим терроризмом; но и ядерными делами».

Трудно назвать, какими «ядерными делами» занимается ученый, а вот экологическим терроризмом он действительно занимается давно.)

Несмотря на колоссальные усилия, запретить и уничтожить атомную энергетику России экологическим террористам не удалось.

Преодолевая сопротивление и провокации экологических экстремистов и террористов, атомная энергетика успешно развивается.

После чернобыльской катастрофы прошел 21 год. И с каждым годом становится все яснее, что определенные силы, которые можно отнести к категории экологических террористов, эту беду продолжают использовать в своих корыстных целях, безжалостно нанося морально-психологические удары сотням тысяч людей.

И вот здесь возникает вопрос: можно ли побороть негативные слухи и мифы? История показывает, что нет. Однако ослабить их воздействие можно. Для этого не следует их опровергать. Надо разобраться в их источнике и постараться, не связывая с содержанием слуха, дать правдивую его оценку. Например, известный российский атомный мифолог является специалистом по морфологии северных дельфинов-белух. Доктор Ханс Блике, касаясь его заявления, подчеркнул, что Яблоков напоминает ему бревно, лежащее на пути технического прогресса. Кстати, известный ученый и политик оставил без комментариев суть лживого заявления.

Несомненно, успех антиатомных слухов существенно подрывает регулярная и правдивая информация о безаварийной, устойчивой и эффективной работе атомной промышленности и энергетики, совершенствовании ядерной мощи Российского государства.

При эксплуатации любой, а тем более сложной техники возможны отказы, поломки и даже аварии. Для предотвращения или ослабления эффективности лживой информации о таких событиях, которая, несомненно, появится, порождая слухи и домыслы, необходимо обеспечить СМИ оперативной и правдивой информацией, упреждая появление домыслов. К сожалению, часто имеющие место длительные согласования, не меняющие суть происшедшего, затягивают время, чем играют на руку антиядерным силам. Они свои надуманные комментарии не согласовывают.

Целесообразно также в проблемных регионах организовывать разъяснительные компании, в которых необходимо шире использовать данные о месте и роли ядерной энергетики в жизни региона.

Наконец, через сторонников использования атомной энергии в Федеральном собрании и Правительстве Российской Федерации необходимо добиться принятия законодательных актов, препятствующих осуществлению актов экологического терроризма.

## **10.2. О некоторых публикациях газеты «Зелёный мир»**

Мы решили познакомить читателя с аналитической справкой, подготовленной Пресс-службой и специалистами Минатома России и АО «Техснабэкспорт», опубликованной в Бюллетене по атомной энергии, № 8, 2001.

- Арутюнян Р.В.** доктор физико-математических наук,  
первый зам. директора ИБРАЭ РАН
- Бархударов Р.М.** кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник ИБРАЭ РАН, член Российской научной  
комиссии по радиационной защите (РНКРЗ)
- Белов Б.Д.** кандидат технических наук,  
подполковник запаса, участник ЛПА на ЧАЭС,  
ветеран подразделений особого риска
- Булдаков Л.А.** доктор медицинских наук, профессор, академик АМН
- Вайнсон А.А.** доктор биологических наук, профессор,  
зав. лабораторией лучевых методов лечения  
опухолей Российского онкологического научного  
центра им. Н. Н. Блохина (РОНЦ) РАМН
- Гагаринский А.Ю.** доктор физико-математических наук,  
РНЦ «Курчатовский институт»,  
вице-президент Ядерного общества России

- Гуськова А.К.** главный научный сотрудник  
ГНЦ «Институт биофизики»
- Дибобес И.К.** доктор медицинских наук, профессор,  
лауреат Государственной премии СССР,  
член Научного экспертного совета  
Международной топливно-энергетической ассоциации
- Казаков С.В.** кандидат технических наук,  
участник работ в зоне ЧАЭС (1986–2000 г.),  
главный специалист ИБРАЭ РАН
- Кархов А.Н.** доктор экономических наук,  
главный научный сотрудник Института риска  
и безопасности, член Ядерного общества России
- Козлов В.Ф.** доктор физико-математических наук, член РНКРЗ
- Климанов В.А.** доктор физико-математических наук,  
профессор, зав. кафедрой «Биофизика,  
радиационная физика и экология» МИФИ

Наша основная цель состоит в том, чтобы СМИ, общественность и политики располагали точными данными об истинном положении дел в области радиационной безопасности. Это обращение адресовано к политическим и государственным деятелям, понимающим необходимость при решении любых сложных вопросов, каковым и является обеспечение радиационной безопасности, основываться только на профессиональном опыте и знаниях специалистов.

Газета «Зеленый мир» традиционно много внимания уделяет вопросам экологии. Само по себе это было бы очень похвальным, если бы вопросы охраны окружающей среды и здоровья населения рассматривались объективно, на основе научных данных. К сожалению, это не так. Подавляющая часть публикаций данной газеты тенденциозна, а некоторые ее публикации являются прямой дезинформацией. Особенную активность газета «Зеленый мир» проявила в последнее время в связи с обсуждением законопроектов по обращению с ОЯТ. Детально анализировать каждую публикацию этой газеты не представляется возможным, но три наиболее важные, на наш взгляд, публикации мы не можем оставить без комментариев. Это:

- открытое письмо Президенту Российской Федерации депутата Государственной думы Российской Федерации А.Н. Грешневику (№ 5–6, 2001);
- публикация документа, якобы являющегося заключением Государственной экологической экспертизы по «ядерному пакету» законопроектов (№ 9–10, 2001);



- статья А.В. Яблокова «Здоровье человека и природы как жертв атомного века» (№ 9–10, 2001).

***Открытое письмо Президенту Российской Федерации депутата Государственной думы Российской Федерации А.Н. Грешневику***

В этом письме ставится под сомнение целесообразность принятия законопроектов, направленных на расширение спектра услуг российских предприятий в области обращения с облученным ядерным топливом (ОЯТ) зарубежных ядерных объектов.

Содержание письма, затрагивающего столь серьезную тему, требует обстоятельных комментариев, тем более что оно адресовано Президенту Российской Федерации.

Первое и весьма важное обстоятельство, которое необходимо отметить, поскольку оно характерно для многих оппонентов законопроектов по обращению с ОЯТ, – это полное отсутствие логики. У автора письма или у его «зеленых соратников» понятие открытого письма ассоциируется с возможностью исключения огласки, в том числе пересылки письма в Министерство по атомной энергии. Процитируем фрагмент «открытого» письма:

*«Поскольку вышеупомянутые законопроекты приняты в значительной степени под влиянием представителя Президента РФ и представителя Правительства РФ в Государственной думе, прошу Вас не пересылать мое письмо в заинтересованные ведомства, в том числе в Министерство РФ по атомной энергии, лично ознакомиться с моим письмом и найти возможность приостановить принятие антиэкологических законов».*

Автор письма, может быть, и ни при чем, а вот его «зеленые» соратники наглядно продемонстрировали свое нежелание или неумение думать, оставив в открытом письме столь выразительный пассаж, рассчитанный на его доверительный характер.

Г-н Грешневиков, по-видимому, надеялся, что письмо будет иметь закрытый характер. В этом случае есть все основания предположить, что были предприняты попытки:

- исключения из принятия решения широкого круга специалистов;
- дезинформации руководства страны путем умалчивания, искажения и подтасовки фактов, подмены понятий и прочих недобросовестных приемов.

В этой ситуации мы вынуждены проанализировать письмо более детально и дать оценку его содержания по позициям, которые характеризуют его обоснованность, правдивость и приемы отхода от них.

### ***Прием первый. Умалчивание и подмена понятий***

Автором письма упоминаются только два законопроекта, т. е. о целостной концепции законодательных инициатив, включающей реализацию программ по реабилитации радиационно загрязненных территорий, умалчивается.

В начале своего письма автор вводит определение и приводит аббревиатуру «ОЯТ». Однако в дальнейшем изложении автор переходит на другую терминологию – «отходы» и даже «радиоактивное дерьмо». Это можно расценивать как умышленную подмену понятий или следствие излишней эмоциональности.

На протяжении изложения автор неоднократно выдает свое собственное мнение за мнение всего экологического движения («как эколог, хочу предостеречь...», «на мой взгляд, а также по мнению других экологов...», «мы, экологи, считаем...»), что не соответствует тому факту, что законопроекты были одобрены Комитетом по экологии Государственной думы Российской Федерации и Высшим экологическим советом Государственной думы Российской Федерации. Концепция ввоза ОЯТ, связанного в рамках одного проекта с реализацией экологических программ, прошла авторитетную государственную экологическую экспертизу еще в конце 1999 года.

Нельзя не упрекнуть автора в активном применении некоторых специфических методов, неуместных при обращении к Президенту Российской Федерации:

- создание ярлыков («антиэкологические законы», «распространение могильников», «в немоющем состоянии экологическая экспертиза», «это все миф»);
- абсолютизм в выводах («кроме головной боли, Россия не получит ничего», «принятие законов... равносильно принятию смертного приговора», «ОЯТ-отходы», «контроль за ввозом будет чрезвычайно ослаблен»);
- гигантизм («повергают страну из катастрофы в катастрофу», «замахиваемся на гениальный проект», «хранение ОЯТ будет... сотни лет», «превращать Россию во всемирный могильник ОЯТ»).

### ***Прием второй. Полуправда***

Есть ли правда в письме? Да, некоторые утверждения автора частично соответствуют действительности, хотя и могут быть уточнены. Например, следующие.

*...В России в результате прежней деятельности атомных предприятий накопилось значительное количество жидких высокоактивных отходов...*

Да, это так, но в первую очередь – это отходы, полученные в результате выполнения государственных оборонных программ. Отходы от гражданской переработки ОЯТ переводятся в безопасную форму методом остекловывания. Данным способом утилизировано более 200 млн Ки жидких радиоактивных отходов. Технология остекловывания совершенствуется – новая печь пущена в эксплуатацию во второй половине прошлого года, продолжается строительство еще одной установки остекловывания.

*...Разработчикам необходимо изменение главного природоохранительного закона, для того чтобы разрешить не только ввоз ОЯТ на территорию России и не только для переработки, но и для временного хранения.*

Закон РСФСР «Об охране окружающей среды» был принят в 1991 г. Сегодня он не в полной мере отвечает современным требованиям в области охраны окружающей среды. В настоящее время в Государственной думе Российской Федерации рассматривается законопроект, содержащий значительное количество изменений и дополнений в данный закон, на что, кстати, автор указывает и в своем письме.

Что же касается временного хранения, оно обусловлено технологией процесса переработки. Действительно, некоторые зарубежные страны не имеют широкомасштабных планов развития национальной атомной энергетики и, соответственно, не нуждаются в новом энергетическом сырье – регенерируемых продуктах переработки ОЯТ. Однако Российская Федерация, как прежде и СССР, использует принципиально иной подход. Россия реализует концепцию «замкнутого топливного цикла» с переработкой ОЯТ и обязательным возвратом в топливный цикл делящихся ядерных материалов. При этом данная концепция совершенствуется как с технологической точки зрения, так и с позиций повышения глобальной безопасности (инициатива Президента Российской Федерации на Саммите тысячелетия в ООН).

### ***Прием третий. Полуложь***

Многие утверждения автора должны быть обязательно уточнены – в этом случае они принципиально меняют смысл написанного.

*...Жидких высокоактивных отходов, которые не могут быть переработаны и остеклованы из-за отсутствия резервных мощностей...*

Это не соответствует действительности. Они перерабатывались и будут перерабатываться в дальнейшем и не только на «резервных мощностях», но и на уже существующих и создаваемых установках. В России и во всем мире апробированные технологии захоронения продемонстрированы для низкоактивных и среднеактивных отходов, созданы подземные лаборатории для завершения НИОКР по захоронению высокоактивных отходов.

*...Хранилища облученных тепловыделяющих сборок (ТВС) на ПО «Маяк» заполнены уже на 80...90 процентов...*

Хранилище на ПО «Маяк» было построено в соответствии с проектом завода РТ-1, предусматривающим кратковременную промежуточную выдержку ОЯТ перед переработкой. При эксплуатации хранилища происходит регулярная ротация ОЯТ, обусловленная переработкой части ОЯТ, извлекаемого из хранилища, с одновременной загрузкой нового ОЯТ, доставленного с АЭС, исследовательских реакторов Российской Федерации и Восточной Европы, а также атомных подводных лодок ВМФ России. Текущее заполнение хранилища составляет от 40 до 80 % в зависимости от вида топливных сборок (ВВЭР-440, БН, исследовательское топливо, топливо ВМФ).

Кроме того, необходимо отметить, что действующее хранилище ОЯТ на ПО «Маяк» не имеет прямого отношения к планируемым проектам.

*...В российских хранилищах не размещено ОЯТ более чем со 150 атомных подводных лодок...*

Процедура размещения всего выгруженного ОЯТ атомных подводных лодок (АЛЛ) в отдельных промышленных хранилищах изначально не предусматривалась, поскольку ядерное топливо для АЛЛ, в том числе и ОЯТ АЛЛ, – это еще более ценное сырье, чем ОЯТ АЭС. Из-за беспрецедентно быстрого вывода АЛЛ из состава Военно-морского флота возник дисбаланс между возможностями переработки на ПО «Маяк» и темпами выгрузки ОЯТ АЛЛ. В последние годы резко активизированы работы по комплексному демонтажу выведенных из состава Военно-морского флота АЛЛ. Это технически сложные работы, они включают не только обращение с ОЯТ, но и процедуры извлечения и утилизации реакторных зон, разделки корпусов АЛЛ. Динамика утилизации АЛЛ в период 1998–2001 гг. такова: 4–8–17–20 АЛЛ в год. Выгруженное из АЛЛ ОЯТ будет размещаться на временных береговых накопительных площадках. Условия их временного хранения в специализированных транспортно-упаковочных контейнерах существенно более безопасны, чем в настоящее время в аварийных АЛЛ или в устаревших береговых базах. Почти в 2 раза увеличена и производительность установки по переработке ОЯТ АЛЛ на ПО «Маяк».

*...Проектом закона специально не оговаривается допустимое время хранения зарубежных радиоактивных отходов – значит, допускается хранение ОЯТ сроком не только в несколько месяцев, а в сотни лет.*

*Это обстоятельство скрывается...*

Хранение ОЯТ является промежуточной технологической стадией. Временное хранение ОЯТ не изменяет его физические и технологические свойства, кроме параметров радиоактивности, влияющих на дальнейшую операцию переработки. Уже после одного года хранения ак-

тивность ОЯТ за счет естественного распада короткоживущих радионуклидов снижается до уровня 12 % от начальной активности, а по истечении 40 лет составляет 0,8 %, что резко снижает затраты на химические реагенты и электроэнергию.

Во всех технических документах открыто приводятся данные о том, что ввезенное ОЯТ будет храниться в специальных безопасных хранилищах в течение не менее 20 лет перед последующей регенерацией. Декларируемый принцип хранения ОЯТ говорит не о нерешенности проблемы, а о наиболее обоснованном и оптимальном выборе технологии переработки, в том числе с учетом требований экологической безопасности.

Ко второму чтению законопроекта «О специальных экологических программах реабилитации радиационно-загрязненных регионов Российской Федерации, финансируемых за счет поступлений от внешнеторговых операций с облученным ядерным топливом» в Государственной думе Российской Федерации в текст законопроекта планируется внести определение «временного технологического хранения» с использованием данного понятия во всех трех законопроектах.

#### **Прием четвертый. Просто ложь**

Многие, если не большинство утверждений автора не соответствуют действительности и требуют опровержения. Приведем несколько примеров.

*...Согласно документу Минатома «Стратегия развития атомной энергетики на 2000–2050 гг.», одобренному Правительством 25 мая 2000 г., предполагается прекратить переработку ядерных отходов. Значит, все разговоры о существовании передовых технологий переработки ОЯТ и возможности заработать 20 млрд долл. – миф.*

Это абсолютная ложь. Во-первых, если автор говорит о ядерных отходах, то такого понятия в стратегии нет. В тексте используется профессиональная терминология, которая разделяет радиоактивные отходы (РАО) и ядерное топливо (ЯТ). РАО всегда будут утилизироваться, то есть приводиться в состояние, обеспечивающее их безопасное захоронение. Никакого отказа от обращения с РАО в стратегии нет и не может быть. В стратегии ставится понятная и ясная цель – добиться минимизации РАО от переработки ядерного топлива.

Если автор опять путает и под «радиоактивными отходами» подразумевает «облученное ядерное топливо», то он опять лжет.

Вот что написано в упомянутой стратегии, которая на самом деле называется несколько иначе («Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века»):

«Переработку основной массы облученного ядерного топлива целесообразно отложить до начала серийного строительства быстрых реакторов нового поколения».

Именно отложить и именно на тот период, который требуется для создания быстрых реакторов нового поколения и соответствующих мощностей и технологий для переработки ОЯТ, что как раз и составляет пресловутые 20...30 лет.

Радиоактивные отходы – это радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусмотрено. В соответствии с указанной стратегией, облученное ядерное топливо подлежит переработке. При этом полезные продукты переработки будут использованы как в самой атомной отрасли для изготовления свежего ядерного топлива (уран, плутоний, другие делящиеся материалы) для АЭС, так и в других отраслях промышленности и медицине (изотопы), в связи с чем ОЯТ нельзя отнести к радиоактивным отходам.

Напомним, что 100 г извлеченного из ОЯТ урана по энергетической ценности соответствуют одной тонне нефти или 2...4 т угля. Напомним также, что 20 000 т ОЯТ эквивалентны (при использовании на существующих АЭС) почти миллиарду тонн угля, а в технологиях быстрых реакторов еще большему (в разы) его количеству. Другая сторона медали. Даже при добыче хороших кузбасских углей в количестве 1 млрд т в окружающей среде будет рассеяно 10 000 т радиоактивного урана и тория. Еще один немаловажный аспект. Добыча угля сопровождается несчастными случаями. Статистика показывает, что на 1 млн тонн добытого угля приходится одна шахтерская жизнь.

Еще раз о мифах и реалиях. В России промышленно освоена технология радиохимической переработки ОЯТ. Мощность завода РТ-1 на ПО «Маяк» составляет 400 т в год. Для переработки используется водно-экстракционная технология. Регенерированный уран применяется для получения топлива реакторов РБМК и БН. В настоящее время на заводе реализуется не имеющая мировых аналогов технология фракционирования (целевого выделения сопутствующих продуктов переработки – Cs, Sr). Ведутся опытно-исследовательские работы по извлечению долгоживущих малых актинидов и продуктов деления с возможностью последующей трансмутации (например, в реакторах на быстрых нейтронах), что обеспечит эффективное снижение радиотоксичности отходов и приближение к радиационной (и радиационно-миграционной) эквивалентности отходов и исходного природного материала топлива. Кроме того, на базе НИИАР, г. Димитровград, осваиваются передовые технологии пирометаллургической переработки ОЯТ.

*...Значит, на Земле, кроме территорий, уже загрязненных долгоживущими радионуклидами, появятся и другие.*

Утверждая это, автор игнорирует тексты представленных законопроектов. Ввоз любой партии ОЯТ на хранение и (или) переработку мо-

жет быть разрешен только в том случае, если будет обосновано, что в результате реализации этого проекта в Российской Федерации произойдет общее снижение радиационного риска и повышение экологической безопасности. Дело в том, что за счет получаемых от ввоза ОЯТ средств будет решена конкретная экологическая проблема, представляющая значительно больший радиационный риск. Кроме того, каждый проект должен будет пройти государственную экологическую экспертизу. Данные вопросы регламентируются законопроектом «О специальных экологических программах реабилитации радиационно загрязненных регионов Российской Федерации, финансируемых за счет поступлений от внешне-торговых операций с облученным ядерным топливом», который по непонятным причинам не попал в поле зрения автора при подготовке письма.

Таким образом, автор намеренно или случайно упускает из виду общую концепцию законопроектов – значительно сократить количество радиационно загрязненных территорий на «нашей с Вами Земле».

*...Россия сегодня не только не готова принимать зарубежные радиоактивные отходы, но и не способна должным образом утилизировать свои отходы.*

Законопроекты не предусматривают снятия действующего в настоящее время запрета на ввоз зарубежных радиоактивных отходов. Нет, речь идет только о расширении рынка услуг в области обращения с зарубежным ОЯТ.

Предприятия Российской Федерации на протяжении двадцати лет осуществляют переработку ОЯТ российских АЭС и исследовательских реакторов, а также ОЯТ зарубежных ядерных объектов, построенных по российским (советским) проектам за рубежом в рамках соответствующих международных соглашений. Создан парк специальных вагонов и контейнеров, соответствующий нормам безопасности перевозок МАГАТЭ.

В случае изменения законодательства значительные количества зарубежного ОЯТ планируется хранить в существующих хранилищах, а затем за счет части полученных средств построить новые «сухие» хранилища, в которых будет, в том числе, размещаться и российское ОЯТ. Была проведена технико-экономическая оценка расширения ввоза в Россию на хранение и переработку ОЯТ зарубежных стран. Определен перечень объектов, которые необходимо построить или модернизировать. Оценены затраты на транспортировку, хранение, переработку и утилизацию отходов. Показана техническая готовность осуществления проектов.

*...Кроме «головной боли», Россия ничего не получит после принятия этих законов...*

Реализация внешнеторговых сделок с ОЯТ позволит повысить общую экологическую безопасность в стране через выполнение специаль-

ных экологических программ в радиационно загрязненных регионах с одновременным получением инвестиций для создания современной и развитой национальной атомной энергетики.

К наиболее значимым из запланированных экологических мероприятий можно отнести проведение реабилитации территорий предприятий ядерного оружейного комплекса в Челябинской, Томской, Читинской областях, в Красноярском крае, реабилитацию и снятие с эксплуатации научно-исследовательских объектов в Москве, Санкт-Петербурге, Калужской и Ульяновской областях, реконструкцию и финансовую поддержку спецкомбинатов «Радон» во многих российских регионах.

*...Мы ещё не почистили собственную страну от своего радиоактивного дерьма и не знаем, куда и как выгрузить радиоактивные отходы и реакторы с атомных подлодок; не знаем, что делать через два года с выработавшими свой ресурс 12 атомными реакторами первого и второго поколения, большая часть из которых «чернобыльского типа»...*

Откуда такие данные – неизвестно. Мы знаем, что делать с АЛЛ, и делаем это. Если автор письма слышал о «Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI века», то вместо того, чтобы подложно цитировать ее, он мог бы ее прочитать. Тогда он увидел бы варианты развития мощностей и вывода из эксплуатации атомных реакторов российских АЭС. К сожалению, данный документ уважаемый депутат, наверное, не читал.

*...ОЯТ – не отходы. Конечно – отходы. И конечно – опасные, иначе поправка вносилась бы только в Закон «Об использовании атомной энергии». Но ведь авторы законопроектов требуют обязательного изменения статьи 50 Закона РСФСР «Об охране окружающей природной среды», которая регламентирует требования, обеспечивающие безопасность при использовании радиоактивных материалов.*

Чем ОЯТ отличается от радиоактивных отходов, уже было неоднократно сказано выше. Однако, суть вопроса как раз в том, что ст. 50 действующего Закона «Об охране окружающей среды» распространяет свое действие не только на отходы, но и на радиоактивные материалы. В этой связи в законопроекте «О внесении дополнения в статью 50 Закона РСФСР «Об охране окружающей среды» предусматривается сохранение запрета на ввоз радиоактивных отходов с одновременным включением четвертой части, устанавливающей порядок и условия ввоза ОЯТ. Напомним, что в современном виде статья 50 лишь в самом общем виде описывает требования, обеспечивающие безопасность при использовании радиоактивных материалов. Реально безопасность регламентируют другие нормативно-правовые акты.

*...Значит, разработчики добиваются еще и снижения уровня контроля за ввозом ОЯТ на территорию России. Оно сможет осуществ-*



ляться на основе внесения торговых договоров и контрактов, где в качестве контрагента Российской стороны может выступать перерабатывающее предприятие или иная организация, уполномоченная федеральным органом исполнительной власти. Таким образом, контроль за ввозом в Россию ОЯТ будет чрезвычайно ослаблен.

Еще раз отметим, что автор недостаточно тщательно изучил тексты законопроектов. Помимо действующих процедур государственного регулирования при ввозе зарубежного ОЯТ (обязательность межправительственных соглашений, лицензирование, таможенный контроль и пр.), законопроектами предусматривается целый ряд дополнительных мер: учет финансовых поступлений и их распределение через государственный бюджет, создание единого связанного проекта между отдельной внешне-торговой операцией и специальной экологической программой, прохождение процедуры обязательной государственной экспертизы, надзор за целевым использованием денежных средств со стороны Счетной палаты Государственной думы Российской Федерации и пр.

Порядок ввоза ОЯТ будет определяться Правительством Российской Федерации с учетом международных соглашений и договоров, исходя из экономических и экологических интересов России.

*...И уж тем более мифичны уверения, что кто-то даст России деньги на строительство современных заводов по выгодной переработке ОЯТ.*

Предварительные технико-экономические и маркетинговые исследования, консультации с потенциальными заказчиками услуг показали возможность ввоза в Россию в течение 10...20 лет до 20 тыс. т ОЯТ зарубежных АЭС с получением дохода в размере не менее 20 млрд долл. США.

На дополнительное создание инфраструктуры необходимо будет затратить до 2,6 млрд долл. Затраты, связанные с хранением, переработкой и утилизацией отходов, составят до 7,8 млрд долл., причем большая часть этих затрат будет понесена через 20...30 лет после ввоза топлива и получения средств. На экологические программы, нужды регионов и отчисления в бюджеты всех уровней можно будет направить до 10,0 млрд долл.

Расчет будущих доходов сделан без учета возможных положительных тенденций, которых можно ожидать после принятия законопроектов на связанных рынках экспорта российских услуг по переработке уранового сырья, экспорта свежего ядерного топлива российского происхождения, экспорта, в целом, российских технологий в страны, как уже достигшие значительного уровня развития атомной энергетики, так и только начинающие осваивать свои национальные ядерные программы. Безусловно, эти возможные изменения значительны по своему стоимостному выражению, но достаточно трудны для точной экономической оценки, чтобы быть приведенными корректным образом. Также

стоит сказать, что подобный пакетный подход в перспективе обеспечит впечатляющий рост заказов на строительство за рубежом реакторов российского типа. Нужно ли говорить, что именно доля экспорта высоких технологий во внешнеторговом балансе страны является одним из важнейших показателей уровня развития ее экономики.

*...И об отсутствии в законопроектах элементарного обеспечения безопасности процесса завоза, переработки и хранения дополнительного зарубежного ОЯТ.*

Обеспечение безопасности технологических операций транспортирования, хранения и переработки ОЯТ является основным условием государственного лицензирования действующих и проектируемых предприятий. Вопросы безопасного обращения с радиоактивными материалами, включая ОЯТ, в полной мере регулируются Федеральным законом «Об атомной энергии» и соответствующими подзаконными нормативными актами Российской Федерации, а также международными стандартами. Культура безопасности обеспечивается путем создания и сквозного функционирования системы качества на всех этапах ядерного топливного цикла.

*...Мы, экологи, считаем: сначала следует сформировать законодательную базу в системе обращения с РАО, решить проблемы своих переполненных хранилищ АЭС, выйти из проблемы ограниченных мощностей завода РТ-1 по переработке ОЯТ, чтобы не переполнять Россию еще и зарубежными отходами и не превращать ее во всемирный могильник ОЯТ. Давайте наведем порядок, а потом, лет через 10...15, вернемся к законопроектам о возможности и целесообразности переработки зарубежного ОЯТ.*

В первую очередь – о «всемирном могильнике». Оставим на совести автора упоминание о «могильнике» по отношению к промежуточным хранилищам ОЯТ. Хотелось бы обсудить масштаб. В настоящее время в России хранится порядка 13 тыс. т ОЯТ, включая ОЯТ атомного флота, с ежегодным приростом на уровне 1 тыс. т. Планируемый объем ввоза ОЯТ из-за рубежа составляет порядка 20 тыс. тонн. Прогнозы показывают, что к 2010 году АЭС мира выгрузят около 300 тыс. т ОЯТ, из которых только в США будет храниться 60 тыс. т, в то время как в России – около 40...45 тыс. т (с учетом ввоза до 20 тыс. т зарубежных ОЯТ в течение этих лет). Несложные математические расчеты дают следующий результат: в случае практической реализации предпринимаемых законодательных инициатив объем ОЯТ в России в 2010 г. не превысит 15 % от всего объема наработанного в мире ОЯТ.

Теперь о возможном ожидании. Помимо имеющихся конкурентных противодействий на рынке стандартной переработки ОЯТ со стороны компаний «Кожема» (Франция) и БНФЛ (Великобритания), следует принимать

во внимание предлагаемые к реализации новые интернациональные проекты (например, австралийский проект «Панджеа»), а также действия частных компаний в отдельно взятых государствах (например, строительство долгосрочных хранилищ ОЯТ в ряде европейских государств). На текущий момент для предприятий российской ядерной отрасли пока сохраняется перспективность извлечения весьма серьезных доходов от работы на рынках новых услуг по обращению с ОЯТ. Вместе с тем можно предположить, что в случае невозможности законодательного урегулирования вопроса об участии российских предприятий на данных рынках проблема будет окончательно делегирована на национальный уровень стран, развивающих атомную энергетику, или будет решена с помощью конкурентных интернациональных проектов без участия России. Учитывая тот факт, что круг стран, способных в комплексе предложить данные услуги, пока крайне ограничен (нет необходимых технологий), Российская Федерация могла бы совершить очень серьезный и, главное, своевременный прорыв в данной области.

### *Заключение*

Непредвзятому читателю ясно, что письмо депутата Грешневинова представляет собой непоследовательное и некорректное изложение аргументации против указанных законодательных инициатив. В целом ряде случаев автор не логичен, резок и противоречив, чем напоминает представителей Социально-экологического союза, чьи методы уже были оценены в аналитической справке Пресс-службы Минатома России («Антиядерная кампания Социально-экологического союза: методы и средства дезинформации»). Громко и необоснованно выступить против законопроектов в письме Президенту РФ, в газетной статье, в телевизионных передачах, начиная от «Спокойной ночи, малыши» и «Тушите свет» до «Совершенно секретно» (в последнем случае еще и с большой PR-кампанией), – именно такие методы агитации и пропаганды типичны для «зеленых». И это вместо того, чтобы серьезно вникнуть в проблему, подумать, дать конструктивное предложение, как нам вместе решить накопившиеся за многие десятилетия проблемы.

***Публикация документа, якобы являющегося заключением  
Государственной экологической экспертизы  
по «ядерному пакету» законопроектов (№ 9–10, 2001)***

Это еще один пример нечистоплотных методов работы на антиядерном рынке «зеленых» и их рупора – газеты «Зеленый мир». Публикуя в газете так называемое заключение Государственной экологической экспертизы (под рубрикой «Дословно», с. 17–20), они откровенно

обманывают читателя. Во-первых, опубликованный текст официальным заключением не является, поскольку он не утвержден министром природных ресурсов РФ, о чем редакция газеты знает и упоминает на другой странице (с. 1). Во-вторых, в качестве участников экспертизы, подписавшихся под заключением, указаны известные специалисты. Они действительно принимали в ней участие, но не могли подписать подобное заключение, поскольку неоднократно и публично высказывались в поддержку законопроектов. Они, по нашим сведениям, и не подписывали его. Более того, по нашим данным, большинством голосов были приняты выводы, поддерживающие изменение законодательства. Об этом можно прочесть в той же газете, если внимательно посмотреть другие статьи оппонентов законопроектов (с. 13). Там известная своей антиядерной деятельностью г-жа Попова цитирует один из выводов, который действительно был принят большинством голосов. Приведем его.

*«...В целом Экспертная комиссия считает целесообразным решение проблем радиоактивного загрязнения территории Российской Федерации за счет поступлений от внешнеторговых операций с облученным ядерным топливом».*

Таким образом, налицо явный подлог, имеющий целью срыв законодательного процесса по законопроектам, регулирующим вопросы обращения с ОЯТ.

В завершение отметим еще два мельком упоминавшихся обстоятельства. Первое: «зеленые» просто уверовали в то, что не смогут получить должный отпор. Они не считают нужным хотя бы в рамках одного выпуска газеты (№ 9–10) или одной газетной полосы (с. 20 этого же номера, где рядом с подложными выводами помещена статья той же г-жи Поповой под названием «Я не могу согласиться с выводами») не противоречить себе самим. Второе: Государственная экологическая экспертиза действительно слаба, как упоминал в своем письме г-н Грешневиков. Прошло несколько месяцев после начала работы экспертной комиссии, а официального заключения нет. Однако утечка рабочих материалов экспертизы к «зеленым» есть. Причем с подлогами, обширными и лживыми интерпретациями.

***О статье А.В. Яблокова «Здоровье человека  
и природы как жертв атомного века» (№ 9–10, 2001)***

Известный псевдозэколог продолжает бомбардировать общество своими удивительными открытиями. Его публикации чем-то напоминают научные труды – масса ссылок, много новых якобы научных терминов. Но есть одна постоянная особенность – это публикация своих шокирующих открытий не в научных, а в популярных изданиях. В связи с этим обстоятельством отметим, что в среде ученых – специалистов

в области радиобиологии, радиоэкологии, радиационной безопасности и радиационной медицины – г-на А.В. Яблокова специалистом не считают. Для убедительности нашего утверждения приведем открытое письмо специалистов, опубликованное в газетах «Независимая газета» и «Век».

**«Радиологические мифы и реалии». Открытое письмо специалистов**

В очередной раз вопросы радиационной безопасности, радиобиологии и радиоэкологии оказались в центре общественного внимания, на этот раз при обсуждении законопроектов по обращению с облученным ядерным топливом зарубежных АЭС. Приближается и очередная годовщина аварии на ЧАЭС. В этой связи чрезвычайно важно, чтобы объективные научные данные были услышаны обществом и политиками. К сожалению, в СМИ преобладают неадекватные реальности оценки проблем, которыми мы занимаемся многие десятилетия.

На днях на канале НТВ состоялась получившая большой общественный резонанс передача «Глас народа», на которой специалисты в области радиационной безопасности оказались без права голоса. Микрофон давали хорошо известным так называемым «зеленым ученым». Основным оппонентом Минатома был лидер фракции «Яблоко» г-н Г.А. Явлинский, который накануне в газете «Московские новости» (№ 12 от 20–26 марта 2001 г.) определил в качестве своих «экспертов-атомщиков» Сливяка, Меньшикова и Кузнецова. Все они известные деятели Социально-экологического союза, идеологическим лидером которого является А. Яблоков. Не будем комментировать научные достижения каждого из этих «экспертов-атомщиков», остановимся на позициях г-на А. Яблокова, ограничившись двумя цитатами из бесконечного потока его публикаций последнего времени:

**«Здоровье человека и природы как жертвы атомного века» (Бюллетень программы «Ядерная и радиационная безопасность», 2000, № 5–6).**

*...Таким образом, общее число жертв атомного века отроков, генетических поражений и врожденных уродств – 2 млрд 337 млн человек.*

*К этим цифрам надо добавить: около 500 млн выкидышей (спонтанных абортов) и мертворожденных; 8–14 млн смертей новорожденных; 5 млн с замедленным умственным развитием.*

Эти цифры совершенно абсурдны.

**«Ядерная мифология конца XX века» (Новый мир, 1995).**

*...Рядом исследователей США было установлено, что с мая по август 1986 г. в США наблюдался значительный рост общего числа смертей среди населения, рост младенческой смертности, а также пониженная рождаемость. Высокая корреляция этих трех групп независимых данных с концентрацией радиоактивного йода-131 из чернобыльского об-*

лака, накрывшего США, настолько значительна, что не более одной тысячной можно дать за то, что эта связь случайна... Количество смертей от пневмонии возросло на 18,1 % по сравнению с 1985 г., а вся смертность от разных видов инфекционных заболеваний – на 32,5 % (от СПИДа – на 60 %). Все это с высокой, статистически достоверной вероятностью связано с поражением иммунной системы черновыльскими радиоактивными выбросами, накрывшими, как известно, США.

Не надо быть специалистом, чтобы оценить бредовость этих утверждений о таких последствиях аварии на ЧАЭС для населения США. По-видимому, господин Яблоков не удосужился поведать о своих открытиях властям США, сокрывшим правду от своего народа. Если учесть, что концентрации радиоактивного йода на территориях СССР и стран Европы были в десятки тысяч раз больше, чем в США, то согласно заявлению Яблокова население западных стран также не подозревает о своих многомиллионных жертвах вследствие аварии на ЧАЭС.

Нас не очень волновали бы столь экзотические высказывания относительно зловещей роли радиации в нашей жизни, если бы, мягко говоря, странные выводы лжеученых не воспроизводились бы активно СМИ. Чего стоят слова журналистки Е. Масюк: «...за 13 лет от лучевой болезни погибло 100 тысяч человек, а от последствий черновыльской аварии – еще 200 000 человек». Телеведущая канала ОРТ Е. Андреева также сообщила о репортаже П. Филя, сделанном им на процедуре закрытия ЧАЭС, где говорилось о смерти 300 тысяч человек от лучевой болезни. На самом деле в результате аварии лучевой болезнью заболело 134 человека, из которых 30 умерло в первые месяцы, а 14 – в последующие 15 лет.

Происходит опасная для нашего общества смычка научной недобросовестности с политической демагогией при обсуждении актуальных для страны проблем. Пример этого продемонстрировал г-н Явлинский, заявив, что ему, как политику, не обязательно детальное знание специальных научно-технических вопросов. Но в этом случае необходимо позаботиться о профессионально грамотной экспертной оценке обсуждаемого вопроса, чего он не сделал.

Мы, как специалисты, десятилетиями работающие в области обеспечения радиационной безопасности, авторитетно заявляем, что радиационные риски, связанные с использованием атомной энергии, являются пренебрежимо малой добавкой к тем радиационным рискам, которым подвергается население России. «Вклад» всей промышленной деятельности, включая испытания ядерного оружия и аварии, в том числе и аварии на ЧАЭС, в облучение населения России – в среднем это менее 1 % от доз, получаемых населением от природного фона и от медицинских процедур. А вклад техногенных радиационных рисков в общие

экологические риски еще меньше. Для абсолютного большинства населения России гораздо более опасно воздействие, связанное с химически вредными веществами, вследствие систематического нарушения действующих норм и правил. И здесь отличия разительные – если случаи нарушения норм и правил в области радиационной безопасности являются единичными, то случаи превышения предельно допустимых концентраций химически вредных веществ затрагивают почти половину населения России. И это взгляд на экологические проблемы всего научного сообщества, зафиксированный в концепциях, международных рекомендациях и других документах.

Вопросы радиационной безопасности не исчерпываются отношением к облученному ядерному топливу зарубежных АЭС. Важно, чтобы объективное и научно обоснованное отношение к здоровью населения и охране окружающей природной среды стало нормой социальной жизни. Эти вопросы не должны быть отданы на откуп шарлатанам от науки. И прежде всего это касается объективного и взвешенного отношения к вопросам радиационной безопасности и последствиям аварии на ЧАЭС. Слишком велик ущерб, нанесенный неграмотными решениями политиков. И он может еще возрасти, если население в очередной раз будут запугивать многими тысячами, а в диких калькуляциях г-на Яблокова – миллиардами жертв радиации.

Основная цель терактов – психологический эффект, психологическое воздействие на органы власти, население, общественное мнение. Именно это и стало причиной появления психотерроризма, когда обеспечивается непосредственное достижение указанных целей без актов физического насилия и разрушения. Преимуществами этой разновидности терроризма являются:

- прямое достижение результатов с гигантскими масштабами последствий;
- возможности создания долговременных многоцелевых комплексных поэтапных психотеррористических программ;
- наивысшая степень скрытности самого акта терроризма;
- практическое отсутствие международных и национальных механизмов правовой защиты объекта террористического воздействия;
- возможности минимального материального ущерба от терактов.

Для осуществления информационно-психологических воздействий на индивидуальное, групповое и массовое сознание и психику в целом могут быть использованы:

- СМИ;
- открытые информационно-вычислительные сети;
- программные средства, нелегально модифицирующие информационную среду, на основании которой человек принимает решения;

- специализированные средства информационно-пропагандистской направленности, в том числе создание виртуальной реальности и психосемантическое воздействие, действующее на подсознание;
- средства генерирования акустических и электромагнитных полей. В последние годы особым фактором международной жизни становится информационный терроризм (кибертерроризм). Потенциальными объектами его воздействия могут стать ключевые элементы всех управленческих, экономических, транспортных, финансовых, военных структур государства, средств массовой информации. Нельзя не учитывать и косвенный ущерб, например от авиакатастрофы в случае паралича диспетчерских служб из-за проведенной информационной атаки.

Кибертерроризм может быть определен как действия по дезорганизации информационных систем или как их преднамеренное и целенаправленное использование, создающие опасность гибели людей, причинения значительного (на уровне государства и общества) имущественного или морального ущерба либо наступления иных общественно опасных последствий, если они совершены в целях нарушения общественной безопасности, устрашения населения либо оказания воздействия на принятие решений органами власти, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях.

Информационный терроризм может трактоваться как намеренное злоупотребление информационными средствами (СМИ, информационные системы, сети, включая все виды АСУ) или их компонентами с целью ведения, поддержания или содействия террористической деятельности или отдельного такого действия. В этом случае злоупотребление системой (сетью) не обязательно приводит к прямому насилию против людей, но может быть причиной катастроф или диверсий, в результате которых могут быть человеческие жертвы.

Вместе с тем суть терроризма остается прежней – это противоправное деяние, преступление, поэтому борьба с ним должна вестись в первую очередь в сфере права как на национальном, так и на международном уровнях. Предпринимаемые попытки международного сообщества разрешить эту проблему пока малорезультативны.

До сегодняшнего момента заключено 12 основных международных документов, относимых к так называемым антитеррористическим конвенциям.

В России на ближайшую перспективу разрабатываются следующие приоритетные направления международного антитеррористического сотрудничества:

- укрепление глобальной антитеррористической коалиции под эгидой ООН;



- укрепление и совершенствование международно-правовой основы борьбы с терроризмом, и прежде всего пресечение актов терроризма с использованием оружия массового уничтожения, выработка международных мер эффективного противодействия супертерроризму;
- усиление центральной координирующей роли ООН и ее Совета Безопасности в глобальных антитеррористических усилиях;
- использование региональных и субрегиональных организаций и форумов для развития практического антитеррористического взаимодействия;
- продолжение работы по совершенствованию национального антитеррористического законодательства, активная поддержка мер по разработке международных стандартов;
- активное вовлечение общества, включая СМИ, в борьбу с терроризмом.

Эффективная антитеррористическая борьба требует формирования антитеррористических сообществ. Значительную роль здесь может сыграть создание новых механизмов межведомственного и даже межгосударственного координирования, а также развитие межгосударственной кооперации, включая гармонизацию национальных законодательных систем. И без ведения широкого международного переговорного процесса по комплексным проблемам разоружения и контроля над производством и распространением оружия массового поражения не будет решен и вопрос о борьбе с супертерроризмом. Понимание императивности такого подхода – необходимое условие продвижения по пути решения этой проблемы.

## **11. МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВЫЕ РЕЖИМЫ И КОНТРОЛЬ ЗА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕМ ОРУЖИЯ МАССОВОГО УНИЧТОЖЕНИЯ**

### **11.1. Историко-правовые аспекты нераспространения ядерного оружия**

#### *Исторические предпосылки нераспространения ядерного оружия*

В 40-е годы XX века процесс овладения секретами атомной энергии привел человечество к практическому применению ядерных технологий. Пуск первого ядерного реактора 2 декабря 1942 года и первое испытание атомной бомбы 16 июля 1945 года в Аламогордо (США) в равной мере могут рассматриваться как точка отсчета ядерного века. Грани его противоречий обозначились резко: триумф науки – трагедия Хиросимы и Нагасаки в августе 1945 года; могущество человека, поставившего себе на службу атомную энергию, – бессилие человечества перед угрозой ядерной катастрофы.

Вслед за США ядерным оружием овладел Советский Союз (первое испытание – 29 августа 1949 года), затем Англия (3 октября 1952 года), Франция (13 февраля 1960 года), КНР (16 октября 1964 года). Обладание сверхбомбой воспринималось как признак геостратегической полноценности, закреплявшей статус великих держав – постоянных членов Совета безопасности ООН. Однако по сходным причинам к ядерному оружию стремился и ряд других стран.

Многие государства (от Швеции до ЮАР и от Бразилии до Японии) в разные годы осуществляли секретные ядерные программы в военной области. Перед мировым сообществом встал вопрос: как максимально использовать мирный потенциал атомной энергии, сведя при этом к минимуму угрозу его военного применения? Чем больше стран получало доступ к ядерному оружию после возникновения ситуации «взаимного сдерживания» США и СССР, тем выше был риск ядерной войны и тем сложнее становилось контролировать его распространение. Оптимальным было бы полное запрещение ядерного оружия с последующим уничтожением его запасов. Такое решение устранило бы угрозу ядерной войны и дискриминацию государств по признаку

обладания сверхоружием. Поскольку реалии «холодной войны» блокировали этот путь, ядерные державы избрали более сложный вариант. Суть его – в облегчении доступа к мирным ядерным технологиям всех государств при условии гарантий ненаправления получаемых материалов и оборудования в военную сферу, отказа от бесконтрольного реэкспорта и т. д.

Еще в начале 50-х годов выяснилось, что государствам-импортерам ядерных материалов и оборудования было легче согласиться на контроль за их невоенным использованием со стороны служащих иностранной державы. Осуществление контрольных функций в области безопасности, или гарантий, было поручено Международному агентству по атомной энергии (МАГАТЭ), Устав которого вступил в силу 29 июля 1957 года.

В 60-х годах происходила стремительная эволюция системы гарантий МАГАТЭ, что во многом объяснялось быстрым возрастанием в мире интереса к ядерной энергетике, пик которого пришелся на конец 70-х годов. Одновременно увеличилась опасность расползания военных ядерных технологий. Росло число «пороговых стран», то есть государств, технически способных создать атомную бомбу. Угроза распространения была особенно остра в развитых странах, включая те, которые потерпели поражение во Второй мировой войне. Все это требовало радикального изменения политики ядерных держав, создания действенного режима нераспространения в мире.

После длительных переговоров 1 июля 1968 года был открыт для подписания Договор о нераспространении ядерного оружия<sup>1</sup>, который стал символом установившегося режима нераспространения.

Вслед за вступлением Договора в силу в 1970 году была разработана полномасштабная система гарантий МАГАТЭ (INFCIRC/153), начал работу Комитет ядерных экспортеров («Комитет Цангера»), представивший первые рекомендации к концу 1974 года.

Еще до заключения Договора о нераспространении ядерного оружия, 14 февраля 1967 года был открыт для подписания Договор о запрещении ядерного оружия в Латинской Америке, или Договор Тлателолко<sup>2</sup>.

Другим региональным договором группы государств для «обеспечения полного отсутствия ядерного оружия» на их территории является Договор о безъядерной зоне в южной части Тихого океана, или Договор Раротонга<sup>3</sup>, который был открыт для подписания 6 августа 1985 года.

События середины 70-х годов дали обильную пищу для размышлений инициаторам создания режима нераспространения. Испытание

---

<sup>1</sup> Тимербаев Р.М. Россия и ядерное распространение 1945–1968 гг. М.: Наука. 1999. – С. 354–359.

<sup>2</sup> Документ МАГАТЭ INFCIRC / 153.

<sup>3</sup> Тимербаев Р.М. Контроль за ограничением вооружений и разоружением. М.: Международные отношения, 1983.

ядерного взрывного устройства в Индии, готовность ФРГ (ратифицировавшей ДНЯО в 1975 г.) помогать строительству в Бразилии (не участвовавшей в ДНЯО) целого комплекса предприятий ядерного цикла, включая установку для обогащения урана, заинтересованность Пакистана в получении из Франции (не участвовавшей в ДНЯО до 1992 года) завода по переработке облученного ядерного топлива – все это подтолкнуло основных поставщиков ядерных материалов, оборудования и технологии к дальнейшему согласованию своих позиций.

Начиная с ноября 1974 года в Лондоне проходили переговоры СССР, США, Англии, Франции, Канады, ФРГ и Японии (Группа ядерных поставщиков, или «Лондонская группа») по выработке единых правил регулирования ядерного экспорта. 27 января 1976 года участники переговоров обменялись письмами, в которых были одобрены руководящие принципы ядерных поставок.

К началу 1978 года число участников Группы ядерных поставщиков возросло до 15: добавилась Бельгия, ГДР, Италия, Нидерланды, Польша, Чехословакия, Швейцария и Швеция. 11 января 1978 года они направили в МАГАТЭ письма, к которым прилагался текст «Руководящих принципов ядерного экспорта»<sup>4</sup>. МАГАТЭ распространило их как свой официальный документ (INFCIRC/254) в целях информирования всех государств-членов.

События августа–декабря 1991 года, появление на политической карте 15 независимых государств вместо ядерной державы – Советского Союза – остро поставили ряд вопросов, связанных с нераспространением ядерного оружия. Государства – участники Содружества Независимых Государств должны были решить ряд вопросов, вытекавших из международных обязательств СССР и новой ситуации. В Соглашении по стратегическим силам от 30 декабря 1991 года страны СНГ признали необходимость объединенного командования стратегическими силами и сохранения единого контроля над ядерным оружием и другими видами оружия массового уничтожения.

23 мая 1992 года США, Россия, Украина, Беларусь и Казахстан подписали Лиссабонский протокол<sup>5</sup> к Договору о СНВ-1 от 31 июля 1991 года. Согласно протоколу, Украина, Беларусь и Казахстан обязались после введения в действие Договора о СНВ-1 ликвидировать или передать России все стратегические ядерные боеголовки и присоединиться к ДНЯО в качестве неядерных держав.

В ходе минской встречи в верхах стран СНГ 26 июня 1992 года восемь государств (Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан, Россия, Таджики-

---

<sup>4</sup> Документ МАГАТЭ INFCIRC/254.2.

<sup>5</sup> «Arms Control Today», June, 1992 г. Pp. 34–37.

стан, Узбекистан и Украина) подписали два соглашения: об основных принципах сотрудничества в области мирного использования атомной энергии и о координации работ по вопросам экспортного контроля.

Предотвращение дальнейшего распространения ядерного оружия стало бесспорной приоритетной проблемой глобальной безопасности мира. По мнению подавляющего большинства экспертов, стратегическая стабильность в мире сейчас может быть подорвана только в результате появления новых ядерных государств. Эпицентр ядерной опасности явно переместился из зоны развитых стран в страны «третьего мира», и сам ядерный конфликт возможен главным образом в отношениях между развивающимися странами на Ближнем Востоке и в Южной Азии.

В первой половине 90-х годов были достигнуты впечатляющие результаты в предотвращении ядерного распространения. Очаг его, образовавшийся в результате распада СССР, был погашен – Украина, Беларусь и Казахстан, на территории которых дислоцировались советские ядерные вооружения, стали участниками ДНЯО. Северная Корея, пытавшаяся выйти из него, взяла на себя обязательство перепрофилировать свои ядерные объекты, с тем чтобы их было невозможно использовать в военных целях. Южная Африка отказалась от обладания ядерным оружием и демонтировала созданные подпольно ядерные устройства. После поражения в войне в Персидском заливе Ирак был принужден Советом Безопасности ООН к демонтажу промышленного потенциала для создания оружия массового уничтожения. В 1995 году ДНЯО – основа всего режима нераспространения – был продлен бессрочно и стал постоянно действующим. В сентябре 1996 года был подготовлен и открыт для подписания текст Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний<sup>6</sup>.

Итак, казалось бы достигнуты неплохие результаты, к ДНЯО присоединились все пять ядерных держав и более 170 неядерных государств мира. Вслед за безъядерными зонами в Латинской Америке и в южной части Тихого океана появились безъядерные зоны в Африке и в Юго-Восточной Азии. Более 100 стран стали участниками безъядерных зон. Главным достижением политики в этой ключевой сфере международной безопасности оказалось и принятие большинством стран мирового сообщества норм поведения, запрещающих и осуждающих любое расширение «ядерного клуба».

Вместе с тем достигнутые результаты не могут быть поводом для благодушия и свертывания усилий по укреплению режима нераспространения. На горизонте пока не просматриваются возможности повернуть ядерное распространение вспять на Ближнем Востоке и в Южной

---

<sup>6</sup> Российская газета, N 104 от 31 мая 2000 г.

Азии. Израиль, Индия и Пакистан наотрез отказываются присоединиться к Договору о нераспространении ядерного оружия и прекратить наращивание имеющегося в их распоряжении ядерного потенциала. Главный вопрос в том, как предотвратить угрозу их официального объявления себя ядерными государствами. На Ближнем Востоке ряд арабских стран и Иран не собираются мириться с ядерной монополией Израиля и в качестве противовеса пытаются осваивать пока мирную ядерную технологию, приобретать химическое и ракетное оружие. Индия и Пакистан интенсифицируют свои программы ракетостроения для создания средств доставки ядерного оружия. Остается до конца не ясным, как далеко пойдет Северная Корея в деле ликвидации накопленных возможностей в ядерной и ракетной сферах.

### *Понятие режима нераспространения ядерного оружия*

Теоретики международных отношений обычно говорили о мировой политике с помощью понятий анархии и конфликтов. Потеря политической власти, которая превышает рамки одного государства, означала, что взаимоотношения между государствами строились на основе «закона джунглей»: сильный поступает как он хочет, а слабый – как может<sup>7</sup>. При таком подходе теоретики в 1970-х годах пришли в недоумение, видя определенные образцы возросшего сотрудничества государств. Для объяснения необычного сотрудничества они ввели понятие «международного режима», как конгломерата из обществ, договоров, законодательств и постановлений, основанных на существующих принципах и представлениях об общественных ценностях. Взаимодействие и взаимное укрепление этих элементов должно, по их представлениям, способствовать определенному сотрудничеству стран, даже тех, у которых за плечами история, насыщенная конфликтами.

Сегодня режим ядерного нераспространения является одним из самых успешных режимов в мировой политике. В соответствии с ДНЯО под нераспространением ядерного оружия подразумевается свободно заключенное соглашение между государствами, обладающими и не обладающими ядерным оружием, о том, как наилучшим образом извлечь преимущества из мирного использования атомной энергии, в то же время прилагая все усилия для того, чтобы не подорвать международный мир и безопасность.

Одной из важных мер укрепления режима нераспространения ядерного оружия является создание зон, свободных от ядерного оружия. В 1975 году Генеральная Ассамблея ООН в своей резолюции 3472 В (XXX)

---

<sup>7</sup> Хишам Зирриффи, Мишель Бойд. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний: куда двигаться дальше? / Энергетика и безопасность. – № 12. – С. 19–24.

от 11 декабря следующим образом дала определение концепции зоны, свободной от ядерного оружия: «Как общее правило, «зоной, свободной от ядерного оружия», считается любая признаваемая таковой Генеральной Ассамблеей ООН зона, которую любая группа государств при свободном осуществлении ими своего суверенитета создала в силу договора или конвенции, в которых: (а) определяется статут о полном отсутствии ядерного оружия, действующий в отношении этой зоны, включая процедуру делимитации зоны; и (б) учреждена международная система проверки и контроля для обеспечения гарантии соблюдения обязательств, вытекающих из этого статута».

Режим нераспространения базируется на Договоре о нераспространении ядерного оружия, договорах Тлателолко и Раротонго, поддерживается Международным агентством по ядерному контролю, национальными агентствами и постановлениями о ядерном контроле. Все они проникнуты в большей или меньшей степени общественным убеждением, что распространение ядерного оружия представляет опасность для всего мира и часто угрожает безопасности отдельных государств.

Независимые в значительной степени и при создании, и в действии эти компоненты режима, тем не менее, активно взаимодействуют и едины в отношении укрепления норм ядерного нераспространения. Например, некоторые договоры доверяют МАГАТЭ осуществление своих положений. Ядерные поставщики всего мира сотрудничают, помогая устанавливать точный смысл некоторых не вполне определенных параграфов Договора о нераспространении. Национальные ведомства по ядерному контролю подчиняются положениям международных договоров, а иногда и более жестким положениям внутреннего законодательства. Взаимосвязанная природа разнообразных элементов режима служит укреплению режима нераспространения ядерного оружия и защите его от развала.

### *Правовой статус безъядерных зон*

Большое значение в деле нераспространения ядерного оружия и обеспечения глобальной безопасности имеет процесс создания безъядерных зон.

Идея безъядерных зон приобретает все большую привлекательность не только как мера, способствующая ядерному нераспространению и разоружению вообще, но и как существенный фактор разрядки и урегулирования региональных конфликтных ситуаций. Важно при этом отметить, что безъядерные зоны в определенном отношении дают участвующим в них государствам и некоторые преимущества по сравнению с ДНЯО: они устанавливают полностью безъядерный статус, запрещая присутствие ядерного оружия, принадлежащего ядерным державам (чего ДНЯО не предусматривает); участники зон, кроме того,

получают от ядерных держав в соответствии с уже сложившейся практикой юридически обязательные гарантии безопасности (чего лишены неядерные участники ДНЯО).

На сегодняшний день безъядерные зоны уже созданы или находятся в процессе создания в Латинской Америке, южной части Тихого океана, Африке, Юго-Восточной Азии. Кроме того, имеются предложения о создании безъядерной зоны в Южной Азии и на Корейском полуострове. Наконец, недавно Узбекистаном была выдвинута идея образования свободной от ядерного оружия зоны в Центральной Азии.

Генеральной Ассамблеей ООН зона, свободная от ядерного оружия, была определена как «любая зона, признанная Генеральной Ассамблеей ООН, которую любая группа стран в свободном проявлении суверенитета образовала в силу договора или конвенции». Такой договор должен обеспечивать «полное отсутствие ядерного оружия, что и должно явиться предназначением зоны», а также волен предусматривать «международную систему проверок и контроля с целью гарантирования соответствия обязательствам, устанавливаемым этим договором». Кроме того, ООН рекомендует ядерным государствам ввиду полного отсутствия ядерного оружия в таких зонах не прибегать к какому-либо рода нарушениям безъядерного режима зон.

ООН уже 30 лет тому назад признала зоны, свободные от ядерного оружия, полезным средством для обеспечения региональной и международной безопасности, всячески поощряя их создание, а Генеральная Ассамблея приняла соответствующие резолюции, призывая государства предпринять необходимые усилия для завершения оформления существующих и создания новых зон.

Ряд стран в 60-е годы неоднократно выдвигали инициативы о создании безъядерных зон, например, «план Рапацкого» (А. Рапацкий – министр иностранных дел Польши 50-х годов), выдвигающий создание безъядерной зоны в центре Европы. Согласно этому плану, государства центрально-европейской части Европы (Польша, Чехословакия, ГДР, ФРГ) обязуются не производить, не накапливать, не ввозить, не разрешать транспортировку по их территориям различных видов ядерного оружия, не разрешать использовать территории для размещения иностранного ядерного оружия.

В 1959 году был подписан Договор об Антарктике<sup>8</sup>, запрещающий в этой области Земли любые мероприятия военного характера, в том числе такие, как создание военных баз и укреплений, проведение военных маневров, а также испытание любых видов оружия, включая ядерное, и захоронение радиоактивных материалов. В соответствии с этим Договором весь континент объявляется демилитаризованной зоной и может использоваться

---

<sup>8</sup> Ведомости Верховного Совета СССР, 1961, № 31, с. 329.



исключительно в мирных целях. Договор ни разу не был нарушен. На 31 июля 1994 года участниками Договора являлись 42 государства.

В 1967 году был заключен Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела. Договор запрещает выводить на орбиту Земли любые объекты с ядерным оружием или другими видами оружия массового поражения, устанавливать такое оружие на небесных телах и размещать его в космическом пространстве. Запрещается также создание на небесных телах военных баз, сооружений и укреплений, испытания и проведение военных маневров.

В 1971 году был подписан Договор о запрещении размещения на дне морей и океанов и в его недрах ядерного оружия<sup>9</sup>. Он обязывает его участников, в том числе Россию, США, Англию и Францию, не устанавливать и не размещать на морском дне ядерные и другие виды оружия массового поражения, а также сооружения для хранения, испытания и применения такого оружия. Зоной действия Договора является область, находящаяся за пределами 12-мильного ограничения территориальных вод от прибрежной полосы. Договор устанавливает режим безъядерной зоны на огромных пространствах морского и океанского дна и его недр. На 31 июля 1994 года участниками Договора являлись 89 государств.

Изъятие Антарктики, космоса и морского дна из сферы гонки ядерного оружия и превращение их в безъядерные зоны стали важным фактором, способствовавшим улучшению международной обстановки. Однако настоящим прорывом в деле международно-правового признания безъядерных зон стало подписание большинством стран Латинской Америки в 1967 году Договора Тлателолко – о запрещении ядерного оружия в этом регионе. Договор запрещает испытание, применение, изготовление, производство или приобретение любым способом, а также получение, хранение, установку, размещение и любую форму владения любым ядерным оружием странам Латинской Америки и Карибского моря. В соответствии с этим Договором была создана региональная организация – Агентство по запрещению ядерного оружия в странах Латинской Америки и Карибского бассейна (ОПАНАЛ) для обеспечения соблюдения участниками различных положений Договора. Договор Тлателолко является одним из значительных элементов режима нераспространения, который предшествовал возникновению Договора о нераспространении ядерного оружия.

В 1986 году был заключен второй договор о безъядерной зоне – Договор Раротонго<sup>10</sup>, объявляющий о создании на юге Тихого океана зоны, сво-

<sup>9</sup> Охрана окружающей среды. Международные правовые акты: справочник. Санкт-Петербург, 1994.

<sup>10</sup> Тимербаев Р.М. Контроль за ограничением вооружений и разоружением. М.: Международные отношения, 1983.

бодной от ядерного оружия. Зона включает Австралию, Новую Зеландию, Папуа, Новую Гвинею и ряд мелких островных государств этого региона. Договор запрещает изготовление или приобретение другими способами любого ядерного взрывного устройства, а также владение и контроль над таким устройством со стороны участников где-либо в пределах или за пределами зоны. Он также запрещает захоронение радиоактивных материалов в море и владение и испытание ядерных взрывных устройств в мирных целях. Договор разрешает участникам делать исключения для ядерного оружия, которое может находиться на борту иностранных судов, заходящих в их порты.

Соглашения о безъядерных зонах имеют важные международно-правовые признаки и каждый – свои обязанности, целью которых является:

- прекращение распространения ядерного оружия;
- борьба с ядерным терроризмом;
- запрещение испытания ядерного оружия в обусловливаемых территориях;
- запрещение производства ядерного оружия в обусловливаемых зонах иностранного производства;
- запрещение транспортировок ядерного оружия через территорию обусловливаемой зоны;
- развитие атомной индустрии в мирных целях.

Сейчас уже можно с уверенностью утверждать, что создание зон, свободных от ядерного оружия, прочно входит в международную практику как одно из наиболее действенных средств достижения главной цели – глобальной ядерной безопасности. Растет количество региональных инициатив, совершенствуется законодательная база безъядерных зон, а накопленный практический опыт позволяет ускорить нелегкий процесс их создания. Относительно главных обязательств членом зоны схожи во многих аспектах. Это запрет на разработку производства, владение, испытание ядерного оружия.

Как нам представляется, концепция создания зон обретает все более реальные очертания, становится конкретным практическим путем укрепления международного режима нераспространения ядерного оружия.

## **11.2. Международно-правовые акты по решению проблем нераспространения ядерного оружия. Международные организации, осуществляющие контроль за соблюдением режима нераспространения**

### *Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО)*

Проблема ядерного оружия является одной из самых острых проблем современности. Распространение ядерного оружия, технологии производства, размещение его в странах с неблагоприятной политиче-

ской и экономической атмосферой – недопустимо. На это направлено усилие мирового сообщества.

В 1961 году многосторонние дипломатические усилия привели к принятию Генеральной Ассамблеей ООН «Ирландской резолюции» (инициатива Ирландии), где все государства, в особенности обладающие в данное время ядерным оружием, призывались сделать все возможное, чтобы обеспечить заключение международного соглашения, содержащего положения, согласно которым ядерные государства возьмут на себя обязательства воздерживаться от утраты контроля над ядерным вооружением и от передачи необходимой для его производства информации государствам, не располагающим таким оружием, а также положения, в соответствии с которым государства, не обладающие ядерным оружием, приняли бы на себя обязательства не производить и не получать иным способом контроль над таким вооружением. По этой инициативе в 1968 году был подписан Договор о нераспространении ядерного оружия, ставший краеугольным камнем глобального режима нераспространения. За последующую четверть века Договор, вступивший в силу 5 марта 1970 года, получил широкую международную поддержку. В течение одного лишь 1992 года к Договору присоединились Эстония, Латвия, Словения, Узбекистан, Азербайджан, Намибия, Нигер и Мьянма (Бирма), а также ядерные державы – КНР (9 марта) и Франция (3 августа). Число участвующих государств достигло свыше 156, включая все пять держав – постоянных членов Совета Безопасности ООН. В 1995 году ДНЯО – основа всего режима нераспространения – был продлен бессрочно и стал постоянно действующим.

К сожалению, далеко не все государства вошли в этот Договор. Ирак, Корейская Народная Демократическая Республика, Пакистан, Индия, Иран – страны, имеющие достаточный потенциал для создания ядерного оружия, до сих пор не подписали этот Договор, и в данный момент ведут активные исследования в этой области.

Договор открывается преамбулой, в которой, в частности, сформулирован основной принцип новой системы гарантий МАГАТЭ. Эти гарантии применяются «в отношении движения исходных и специальных расщепляющихся материалов посредством использования приборов и других технических способов в определенных ключевых местах», то есть контролируется исключительно движение ядерных материалов, а не сами заводы, установки и другие ядерные объекты. Такой подход во многом объяснялся коммерческими соображениями производителей ядерного оборудования, опасавшихся утечек информации к конкурентам в результате излишне детального контроля.

В дополнение к этому статья III/I Договора гласит, что гарантии применяются ко всему ядерному материалу «во всей мирной ядерной

деятельности» в пределах территории неядерного государства-участника Договора, под его юрисдикцией или осуществляемой под его контролем где бы то ни было. Таким образом, Договор предусматривает полномасштабные гарантии, распространяющиеся на весь ядерный цикл государства-участника. В этом ключе была разработана детальная система гарантий, изложенная МАГАТЭ в 1971 году.

Основная задача Договора сформулирована в статье III/I: «не допустить переключения ядерной энергии с мирного применения на ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства». В этом заметно определенное отличие от Устава МАГАТЭ (статья III.A.5), не разрешающего аналогичного переключения на любые военные цели.

Главные статьи Договора о нераспространении (I и II) запрещают ядерным державам «передавать кому бы то ни было» ядерное оружие, а неядерным – «принимать передачи от кого бы то ни было» этого оружия и контроля над ним ни прямо, ни косвенно. Для целей Договора государством, обладающим ядерным оружием, является то, которое произвело и взорвало ядерное оружие или другое ядерное взрывное устройство до 1 января 1967 года (статья IX.3), то есть США, СССР Англия, Франция, КНР. Формула «кому бы то ни было» исключила возможность передачи контроля над ядерным оружием не только неядерным государствам, но и отдельным лицам, группам, партиям, организациям, прежде всего – многонациональным ядерным силам НАТО, создание которых планировалось в 60-е годы.

Вторая часть статьи I вызывает вопросы в настоящее время, поскольку обязывает лишь ядерные державы «никоим образом не помогать, не поощрять и не побуждать» неядерные государства к производству или приобретению ядерного оружия и контролю над ним. Между тем сегодня на мировом рынке активно действуют сотни ядерных поставщиков из неядерных стран, в том числе из государств «третьего мира».

Статья IV.2 Договора обязывает участников «способствовать возможно самому полному обмену оборудованием, материалами, научной и технической информацией об использовании ядерной энергии в мирных целях». Этот раздел воспринимался как «пряник», стимулирующий присоединение к Договору о нераспространении новых участников, особенно из числа развивающихся государств.

Ряд положений Договора (статья V и два абзаца преамбулы) затрагивают проблему ядерных взрывов в мирных целях. Участники Договора обязались обеспечить неядерным государствам при соблюдении соответствующих условий «потенциальные блага от любого мирного применения ядерных взрывов» при максимально низкой стоимости таких благ.

Сердцевиной Договора о нераспространении является соглашение между государствами, обладающими ядерным оружием, и неядерными государствами. Ядерные державы обязуются:

- не помогать неядерным странам в приобретении ядерного оружия;
- передавать заинтересованным странам ядерную технологию для мирных целей;
- предпринимать реальные шаги по сокращению своих запасов ядерного оружия;
- требовать, чтобы продукты их ядерного экспорта в неядерные страны ставились под гарантии.

В свою очередь, неядерные государства соглашаются:

- не стремиться приобретать и развивать ядерное оружие;
- ставить под гарантии продукты их ядерного экспорта в неядерные страны;
- принять условие постановки под гарантии всех ядерных материалов, как импортированных, так и произведенных в стране (полномасштабные гарантии);
- передавать заинтересованным странам ядерную технологию для мирных целей.

Это соглашение по «гарантиям и помощи» свело вместе группы государств, в корне отличные по своим ядерным интересам. В то время как соглашение играет видную роль в продолжающейся поддержке Договора, существование самой поддержки коренится в понимании многими странами роли Договора как защиты их собственных интересов безопасности.

Договор о нераспространении занимает центральное место в режиме нераспространения, многие элементы которого сложились в ходе реализации положений этого документа. Вслед за вступлением Договора в силу в 1970 была разработана полномасштабная система гарантий МАГАТЭ (INFCIRC/153), начал работу Комитет ядерных экспортеров («Комитет Цангера»). Договор является главной опорой в стремлении людей всего мира ограничить распространение ядерного оружия. Не существует более значимого символа установившегося режима нераспространения, который бы позволил внедрить в международную и внутригосударственную жизнь столь много норм и правил нераспространения.

### ***Международные конвенции в области нераспространения ядерного оружия***

Международная Конвенция о ядерной безопасности, являющаяся первым правовым документом, непосредственно касающимся вопроса обеспечения безопасности атомных электростанций, была открыта для

подписания в Вене 20 сентября 1994 года. На конец 1994 года ее подписали 54 государства. Конвенция вступит в силу после получения депозитарием – им является МАГАТЭ – ратификационных грамот от 22 государств, из которых 17 государств должны иметь, по крайней мере, по одной действующей атомной электростанции. Конвенция касается наземных гражданских атомных электростанций и налагает на государства-участники, в частности, обязательство создать и соблюдать соответствующие законы и правила в области обеспечения безопасности. Равным по значимости является и положение о том, что в отношении своих ядерных объектов государства должны применять основные принципы безопасности и принять на себя обязательства участвовать в регулярных «аналитических» обзорных встречах, а также представлять свои доклады по выполнению принятых на себя обязательств.

Наряду с соглашениями о гарантиях МАГАТЭ и других региональных агентств, а также Международной конвенцией о ядерной безопасности, существует один очень важный инструмент, специально созданный для предотвращения незаконного переключения ядерного материала. Конвенция о физической защите ядерного материала накладывает на государства-участники обязательства – принимать надлежащие меры для обеспечения того, чтобы во время международной перевозки ядерный материал был бы защищен на соответствующем уровне. Государства-участники также берут на себя обязательства не экспортировать и не импортировать ядерный материал, если не получена гарантия того, что такой материал будет должным образом защищен на всех этапах перевозки. В случае возникновения в процессе перевозки ядерного материала нештатной ситуации государства-участники Конвенции обязуются информировать друг друга о происшедшем, с тем чтобы содействовать возвращению такого материала. Конвенция призывает принять соответствующие шаги, с тем чтобы действия, направленные на срыв подобных перевозок по национальному законодательству, стали бы наказуемым правонарушением. Депозитарием Конвенции, которая была подписана 3 марта 1980 года и вступила в силу в 1987 году, является Генеральный директор МАГАТЭ.

Положения ДНЯО (пункт 2 статьи III) обязывают государства-участники не предоставлять оборудование для подготовки, использования или производства расщепляющегося материала, если страна-получатель не приняла гарантии МАГАТЭ. Тем самым был поднят вопрос о том, на какие технологии должны распространяться ограничения в соответствии с определением в данной статье «оборудования или материалов, специально разработанных или подготовленных к переработке, использованию или производству специальных расщепляющихся материалов». В 1971 году группой государств-участников ДНЯО был создан Комитет

Цангера, который сделал попытку прийти к согласию по вопросу о единообразном трактовании терминов «оборудование и материалы, специально разработанные или подготовленные к переработке, использованию или производству специальных расщепляющихся материалов». Комитет Цангера трактовал статью III (2) как требующую от стран-экспортеров обеспечить, чтобы импортер устанавливал гарантии безопасности на определенные материалы, имеющие отношение к производству ядерной энергии или к исследовательским лабораториям. Комитет осуществляет обмен информацией между своими членами о соответствующих экспортных лицензиях, которые были выданы, и о тех, в выдаче которых было отказано. Комитет информирует МАГАТЭ о своей деятельности.

Группа поставщиков ядерных материалов («Лондонский клуб»). В 1975 году была предпринята еще одна попытка для защиты ядерных материалов от возможного использования не в мирных целях. Неформальная группа государств-поставщиков ядерных материалов, заседания которой проходили с 1975 по 1977 годы в Лондоне и которая позднее стала известна как Группа поставщиков ядерных материалов, выработала перечень экспортных материалов, оборудования и технологий, поставка которых требовала от получателей создания должной защиты и обязательств не использовать их иначе, как в мирных целях. Известные как Лондонские правила для сделок с ядерными материалами, согласованный перечень и условия применения данных правил были приняты в 1977 году и пересмотрены в 1993 году. Завершая заседание в Польше в апреле 1992 года, Группа поставщиков ядерных материалов одобрила дополнительные меры, расширившие спектр существующих правил. Группа формально составила перечень оборудования, материалов и соответствующих технологий двойного использования – названный впоследствии Варшавскими правилами, передачу которых ее члены должны ограничить по национальному экспортному законодательству. Они также договорились экспортировать такие товары только в государства, являющиеся участниками ДНЯО или согласившиеся со всеобъемлющими правилами безопасности МАГАТЭ. Кроме того, был образован консультативный форум для рассмотрения запросов на получение экспортных лицензий.

### ***Роль МАГАТЭ в вопросах нераспространения ядерного оружия***

Еще в начале 50-х годов выяснилось, что государствам-импортерам ядерных материалов и оборудования было легче согласиться на контроль за их невоенным использованием со стороны служащих иностранной державы. Осуществление контрольных функций в области безопасности, или гарантий, было поручено Международному агентству по атомной

энергии (МАГАТЭ), основанному в 1957 году в качестве организационного центра Программы Эйзенхауэра «Атом за мир». В настоящее время МАГАТЭ является наиболее значимой в мире межправительственной ядерной организацией, насчитывающей 122 государства-участника.

Устав агентства был принят 26 октября 1956 года на международной конференции в Нью-Йорке и вступил в силу после ратификации его 18 государствами-участниками 29 июля 1957 года. Устав МАГАТЭ – международный договор суверенных государств, заключенный независимо от их членства в ООН и других обязательств. Вместе с тем по соглашению МАГАТЭ и ООН от 14 ноября 1957 года Агентство заняло положение, во многом сходное с положением специализированных учреждений ООН.

В соответствии с Уставом целями МАГАТЭ являются: стремиться к достижению более быстрого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира; способствовать мирному использованию ядерной энергии; помочь оградить от переключения гражданских ядерных материалов в область военного применения; содействовать и развивать то, что может дать ядерная энергетика для поддержания мира, здоровья и благосостояния.

Во исполнение своего мандата МАГАТЭ разработало гарантии, с тем чтобы материал не был бы переключен с использования в мирных целях на создание ядерного оружия или ядерных взрывных устройств. Все гарантии МАГАТЭ требуют от соответствующего государства представления в МАГАТЭ для анализа:

- проектную документацию, касающуюся его ядерных объектов, как уже имеющих, так и планируемых;
- правильную и полную информацию, касающуюся ядерного материала, подпадающего под гарантии;
- специальные доклады при возникновении необычных событий или нештатных ситуаций, предусмотримых соглашением о гарантиях.

Чрезвычайно важным является положение о том, что государства, заключившие всеобъемлющее соглашение о гарантиях, должны создать национальную организацию, отвечающую за учет ядерных материалов и контроль за их использованием. На руководителей объектов это накладывает обязанность через соответствующие органы своего государства представлять отчеты в соответствии с требованиями МАГАТЭ. Это к тому же способствовало развитию национального законодательства в части, касающейся ядерного материала и его учета. Еще одним моментом, свойственным всей системе гарантий МАГАТЭ, является требование предоставления официальным представителям Агентства доступа на объекты для проведения инспекций.

Политические цели гарантий по ДНЯО заключаются в том, чтобы обеспечить мировому сообществу уверенность в том, что государство-



участник Договора соблюдает взятые на себя обязательства по мирному использованию ядерной энергии и недопущению посредством угрозы раннего обнаружения переключения с мирных целей или использования не по назначению ядерного материала или объектов. Техническими целями гарантий МАГАТЭ в связи с ДНЯО является обеспечение способности Агентства своевременно обнаружить переключение государством ядерного материала с мирных целей, а также обеспечение того, чтобы весь ядерный материал, подпадающий под гарантии в конкретном государстве, был бы заявлен МАГАТЭ. Гарантии являются одной из форм международной транспарентности ядерной деятельности и служат углублению доверия, что достигается посредством проверок.

Первоначальная система гарантий, разработанная МАГАТЭ, была изложена в документе, который дважды дополнялся и который известен как INFCIRC/66/Rev.2. Разработанный документ должен регулировать деятельность отдельных заводов, что могло составлять лишь одно из звеньев производства материалов, пригодных к использованию для создания ядерного оружия. В отличие от него, разработанное соглашение о гарантиях в связи с ДНЯО является подлинно всеобъемлющим и охватывает весь топливно-ядерный цикл государств, не обладающих ядерным оружием, в отношении которых оно действует. Известное как документ МАГАТЭ INFCIRC/153, оно является результатом совместных усилий 45 государств, участвовавших в подготовке Соглашения о гарантиях.

На сегодня действует в общей сложности 199 соглашений о гарантиях МАГАТЭ со 118 государствами, охватывающих 800 объектов. Среди них 102 соглашения о всеобъемлющих гарантиях в связи с ДНЯО. Таким образом, МАГАТЭ играет важную роль для претворения в жизнь режима нераспространения ядерного оружия.

### ***Другие международные организации как гарантия соблюдения режима нераспространения ядерного оружия***

Помимо МАГАТЭ, в Западной Европе сходные полномочия по контролю в области безопасности получило Европейское сообщество по атомной энергии (ЕВРАТОМ) в соответствии с главой VII Римского договора от 25 марта 1957 года, вступившего в силу с 1 января 1958 года. МАГАТЭ с ЕВРАТОМом достигли соглашения 5 апреля 1973 года о размежевании полномочий при осуществлении гарантий на территории неядерных стран, входящих в Европейское сообщество. При этом МАГАТЭ получает от ЕВРАТОМа сведения о движении ядерных материалов в этих странах, делает выводы из этой информации и сохраняет право осуществлять собственные наблюдения и подсчеты в сфере ядерной деятельности в ЕС. 28 апреля 1992 года между МАГАТЭ и ЕС был

согласован «новый подход» к применению гарантий, который усилил роль ЕВРАТОМа и понизил контроль МАГАТЭ.

С 1 февраля 1958 года по 14 октября 1976 года полномочия по контролю в области безопасности имело Европейское агентство по ядерной энергии, созданное в рамках Организации европейского экономического сотрудничества. С 1972 года оно именуется Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭОЭСР). Полномочия по статье 6 Статуса АЯЭОЭСР были приостановлены, с целью избежать дублирования гарантий МАГАТЭ и ЕВРАТОМа.

ВСМ – международное движение за мир, которое объединяет самые широкие слои населения земного шара. ВСМ был создан на II Всемирном конгрессе сторонников мира в 1950 году.

ВСМ выступает инициатором и организатором военных массовых мероприятий в защиту мира, против гонки ядерного вооружения, за всеобщее и полное разоружение, предотвращение новой мировой войны, за укрепление дружбы и сотрудничества между народами; направляет и координирует свою деятельность с деятельностью других миролюбивых международных организаций.

Особенно необходимо подчеркнуть активную деятельность ВСМ в деле создания «зон мира», т. е. зон, свободных от ядерного и другого оружия.

Международная конференция за разоружение и мир. Основной деятельностью конференции является координирование деятельности национальных организаций и движений, выступающих в защиту мира и за разоружение, создание безъядерных и демилитаризованных зон, за мирное решение всех международных споров.

Итак, при рассмотрении деятельности международных организаций становится ясно, что обеспокоенность в связи с распространением в мире ядерного и иного оружия массового поражения очень велика. В мире создаются все больше и больше организаций, целью которых является сохранение международного мира и безопасности, прекращение гонки вооружений, расширение сотрудничества и взаимопонимания в мире.

### **11.3. Международный режим нераспространения ядерного оружия: политические аспекты функционирования**

Одним из итогов развития международных отношений во второй половине нынешнего столетия явилось превращение ядерного оружия непосредственно в фактор мировой политики, довлеющий над всей системой глобальной безопасности даже в условиях «постконфронтационной эпохи». Это объясняется не столько инерцией философии сдерживания, так как мир в 80–90-е гг. доказал свою гибкость и даже готовность к трансформациям, сколько все возрастающей восприимчивостью меж-

дународных отношений к научно-техническому воздействию. Стремительное развитие атомной энергетики, несмотря на ряд техногенных катастроф (от Тримайленда до Чернобыля), продолжается, и многообразие исследований в этой области сочетается с многочисленностью стран, в них заинтересованных. Поэтому гарантии исключительно мирной направленности энергетических программ неядерных государств, юридически закрепленный и действенный запрет на производство ядерных вооружений как нельзя лучше соотносятся с современными концепциями поддержания стабильности в отдельных регионах и мире в целом.

Однако режим нераспространения ядерного оружия, хотя и ограничил гиперболизацию ядерного фактора на определенном историческом отрезке, не смог полностью выполнить вторую свою задачу по ранжированию государств только на две группы – ядерные и неядерные. За пределами этой двуединой, упрощенной схемы политического регулирования противоречивых интересов возникла группа риска, состоящая из стран, имеющих расплывчатый статус «околоядерных». Произошло это не только потому, что, ядерные державы создали культ ядерного оружия, но и потому, что к этому подводила логика научно-технического прогресса, исказившегося в призме соперничества между государствами, особенно на региональном уровне. Во-первых, процесс приближения стран индустриального типа к ядерному порогу, которым пытаются отгородиться от них блок постиндустриальных обществ, совершенно неизбежен с точки зрения науки и техники. Это не означает выравнивания уровней развития, что создало бы благоприятный фон, а затем и объективные предпосылки для разрешения целого ряда противоречий в системе международных отношений и, может быть, сняло с повестки дня саму ядерную проблему. Напротив, конфигурация неравенства осталась прежней и лишь переместилась, влекомая по рельсам мирохозяйственных связей локомотивом технического прогресса, в зону ядерных координат.

Во-вторых, в мире, где ведущие позиции занимают технократические страны, совершенно логично возрастание значения научно-технической грани политической силы. В этом отношении также следует отметить, что с 80-х гг. углубляется разрыв той жесткой связки между ядерным оружием и научно-техническим уровнем его обладателя, которая когда-то казалась незыблемой. Сегодня нет нужды выстрадать свою собственную ядерную бомбу, как это делали в свое время промышленно развитые страны. Бомбу можно просто импортировать если не целиком, то по частям, по отдельным технологическим цепочкам и компонентам. Таким образом, участники региональной борьбы за преобладание теперь имеют возможность, как минимум, копировать на региональном уровне то, что имеет место на глобальном, и, как максимум, попытаться самим вторгнуться в глобальное противоборство.

Препятствовать этому должен «ядерный ценз», введенный великими державами. Роль такого ценза была возложена на международный режим нераспространения ядерного оружия более четверти века тому назад.

Основные очертания режима сформировались под влиянием возобладавшей к 60-м гг. в политических кругах США так называемой «философии нераспространения», явившейся наукообразной интерпретацией разбитых надежд на ядерную монополию. Соединенные Штаты прежде всего хотели предельно сузить круг обладателей ядерного оружия даже за счет ближайших своих соратников по НАТО, не говоря уже о других государствах. Чисто теоретически сокращение числа субъектов ядерного шантажа увеличивало число его объектов, но практически эта возможность нивелировалась противостоянием другой супердержаве – Советскому Союзу. Формально же в основу «философии нераспространения» были положены три следующих постулата.

Первый гласил, что рост количества государств, обладающих ядерным оружием, увеличит вероятность его использования. Большое число ядерных государств, умноженное на многообразие их целей, задач и моделей поведения, многократно повышало бы риск ядерного конфликта.

Второй исходил из приоритетности сохранения основных результатов Второй мировой войны. Существовавшие тогда ядерные державы были державами-победительницами и сходились в том, чтобы не дать права на обладание самым разрушительным оружием своим бывшим противникам – ФРГ и Японии.

Третий постулат был теоретическим предположением, что дальнейшее распространение ядерных технологий неизбежно захватит неустойчивые в политическом отношении регионы. Создавшаяся в таких условиях обстановка непредсказуемости и бесконтрольности оказала бы резко негативное влияние на все аспекты мировой политики.

Политическое содержание режима нераспространения всегда следует за конкретно-историческими условиями и является результатом политической оценки происходящих в мире изменений. Таким образом, сам режим не может быть незыблемым, ибо это означало бы его омертвление. Он эволюционирует вместе с эволюцией политических подходов к проблемам глобальной безопасности. Как считает Д. Кили из университета в Калгари, «проблемы нераспространения подчинены и отражают основное движение любого политического закона: они базируются на глубинных проблемах политики».

Фундаментом международно-правового режима нераспространения является Договор о нераспространении ядерного оружия, подписанный 1 июля 1968 г. и вступивший в действие 5 марта 1970 г. Уже в силу того, что участниками Договора стали более 130 государств, имеют место не-

одинаковые, а зачастую и прямо противоположные толкования норм и правил режима. Все это создает достаточный простор для его дрейфа в том или ином направлении в зависимости от преобладания тех или иных тенденций. Однако, несомненно одно: режим был сформирован в эпоху конфронтации двух супердержав и в основном их обоюдными усилиями, и его квинтэссенцию составляли производные от доктрины взаимного сдерживания. Краеугольной проблемой и одновременно камнем преткновения режима было недопущение «вертикального» распространения, т. е. гонки ядерных вооружений США и СССР, от которого зависела судьба и распространения «горизонтального», по регионам мира.

В 70–80-е гг. выделялись два позитивных направления в развитии режима. Утопическое сводилось к тому, что должно происходить перераспределение политической силы, т. е. ее отток от ядерных держав на остальной мир посредством интенсивного ядерного разоружения. Оптимистично-прагматичное означало выработку и реализацию некоего правила нераспространения, которое эксперты Стокгольмского института мира называли «правилом переходного периода от частично разоруженного мира к полностью разоруженному». Это правило предусматривало, что неядерные страны отказываются от попыток обрести ядерное оружие, а ядерные – замораживают свои арсеналы, а затем ликвидируют их, что также не было выполнено в полном объеме.

Все произошло по иному сценарию: «вертикальное» нераспространение не удалось, и это во многом спровоцировало «горизонтальное» распространение. На первый взгляд этот тезис выглядит как нонсенс, несоответствующий общеизвестным фактам, ведь за время действия режима ни одно неядерное государство, подписавшее Договор, не отказалось от своих обязательств и не стало ядерным. Но все дело в том, что эта категория лояльных государств никогда и не составляла главный предмет беспокойности супердержав, поскольку была бесконечно далека от возможности несанкционированного приобретения ядерного оружия. Те же государства, которые потенциально могли это сделать и являли собою стратегическую цель применения режима нераспространения, в каждом провале реального ядерного разоружения великих держав видели оправдание своим ядерным амбициям. Как отмечал в то время американский эксперт по международному праву Д. Вудлайф, перспективы режима нераспространения «напрямую зависят от превратностей в отношениях между государствами ядерного клуба, и в наибольшей степени между двумя сверхдержавами».

Эта зависимость и предопределила то, что вокруг не сумевших договориться о разоружении ядерных держав появилась целая россыпь «околоядерных» государств, воспользовавшихся на перифериях мира

инерцией глобального противостояния для решения своих узкоэгоистических задач. Мировое сообщество внезапно было поставлено перед фактом возникновения второго эшелона ядерной опасности, причем гораздо менее предсказуемого, чем первый.

Начался следующий этап развития режима нераспространения, когда главной целью объявлялось обуздание «околоядерных» тенденций, которые если и не угрожали немедленно глобальной безопасности, зато могли развалить Договор о нераспространении целиком и полностью. Д. Кили писал, что «ядерные возможности государств мира являются тем центром, вокруг которого вертятся все формальные правила режима нераспространения». Ядерные возможности целого ряда государств качественно изменились, и чтобы сохранить Договор, нужно было в первую очередь устранить имевшийся в нем дисбаланс в обязательствах ядерных и неядерных стран: первые обладали ядерным оружием, вторым это просто категорически запрещалось.

Реальный выход из кризиса конца 70-х содержался в послании правительства СССР разработчикам Договора еще от 1 февраля 1966 г., в котором говорилось: «СССР заявляет о своей готовности включить в проект договора статью о запрещении применения ядерного оружия против неядерных государств – участников Договора». В 1978 г. Советский Союз посчитал своевременным реанимировать эту свою инициативу в виде предложения 1-й специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН по разоружению заключить международную конвенцию об укреплении гарантий безопасности неядерных государств. Однако Соединенные Штаты, как и 12 лет до того, не решились принять на себя груз юридических обязательств безусловно отказаться от использования ядерного оружия против неядерных стран. Такая позиция объяснялась не только глобализмом американской стратегии, но и той угрозой американским интересам в различных регионах, которую могли уже тогда представлять некоторые «околоядерные» государства, формально имеющие статус неядерных.

Немаловажным было и то, что, по мнению американцев, ядерное оружие является гарантом безопасности членов НАТО, и публичный, юридически оформленный отказ США от его применения в каких-то случаях может подтолкнуть их союзников к созданию собственных ядерных сил сдерживания. В качестве предлога для отказа неядерным странам в юридических гарантиях их безопасности на 33-й сессии ГА ООН представитель США Пирсон назвал трансатлантическую солидарность, заявив: «Наш подход принимал во внимание тот факт, что государства, обладающие ядерным оружием... имеют разнообразные требования в области безопасности. Для многих государств, не обладающих ядерным оружием, их отношения с государствами,

обладающими ядерным оружием, составляют существенную часть национальной безопасности».

Таким образом, США, Англия, Франция и СССР в 1978 г. ограничились лишь политическими заявлениями, призванными укрепить режим нераспространения. Новыми правилами режима не стали, однако нынешнее их толкование исходит из неоспоримости гарантий безопасности неядерных государств со стороны ядерных держав. Это означало существенный шаг вперед и перевод всего режима при неизменности его формы в иное, более конструктивное и позитивное, с точки зрения его участников, качество.

До того существовало лишь совместное заявление правительств Советского Союза, Соединенных Штатов и Великобритании, сделанное в июне 1968 г., о намерении добиваться от Совета Безопасности ООН оказания немедленной поддержки неядерным государствам, ставшим жертвой агрессии или объектом угрозы нападения с применением ядерного оружия. Юридический облик данному заявлению придала резолюция 225 Совета Безопасности, принятая 19 июня 1968 г. Сегодня же правила режима нераспространения, опираясь на достигнутое в 1978 г., предполагают гарантии безопасности неядерных государств гораздо менее гипотетического свойства: они рассматриваются не как «акт доброй воли» ядерных держав, а как «добровольно взятые ими на себя обязательства». Такие гарантии являются, во-первых, одним из элементов общего процесса выравнивания уровней безопасности ядерных и неядерных стран и, во-вторых, своеобразной компенсацией за отказ группы государств от повышения своей обороноспособности путем приобретения или создания ядерного оружия. Чтобы придать гарантиям как можно более высокий политический статус, Советский Союз с трибуны второй специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН по разоружению объявил об одностороннем отказе применять ядерное оружие первым против какого бы то ни было государства.

Столь конструктивные подвижки в толковании правил режима совпали с благополучным исходом борьбы против «околоядерных» тенденций некоторых стран: те сочли международный климат еще недостаточно благоприятным для подъема на ядерные «высоты». Подобная констелляция породила заблуждение (в которое постоянно впадают представители политического конструктивизма), будто стоит лишь изменить нужным образом правила игры, как обязательно изменится и сам ее результат. Адепторы преобладания юридической нормы над политическими закономерностями стали придавать режиму нераспространения черты панацееобразности.

Советский Союз сделал ставку на придание необратимости процессу легитимации правил режима нераспространения и на дальнейшее

развитие их в сторону большей категоричности. Советскими политологами и юристами режим рассматривался совершенно однозначно как «совокупность международно-правовых норм, которые направлены на запрещение расширения круга стран, обладающих ядерным оружием». А председатель Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР А. Петросьянц называл в качестве целей применения режима нераспространения чуть ли не весь спектр советских приоритетов в области безопасности: «ядерное разоружение, ограничение стратегических вооружений, полное и всеобщее запрещение испытаний ядерного оружия, прекращение производства ядерного оружия, постепенное сокращение накопленных запасов вплоть до их полной ликвидации».

Западные эксперты в подавляющем большинстве также поддержали идею расширенного толкования и усиления обязательности правил режима, хотя задачи его ограничивали чаще всего замораживанием числа членов «ядерного клуба» и недопущением перевода неядерными государствами своих энергетических программ на военные рельсы, так как мирные и немирные характеристики атомной энергетики связаны физическими процессами и невозможно их рассматривать в полном отрыве друг от друга.

Американцы же всегда рассчитывали не на разоруженческий импульс, заключенный в режиме нераспространения, а на возможность использовать его в качестве канала экстраполяции доктрины сдерживания на «околоядерные» страны. И когда в 80-е гг. Договор вполне эффективно заработал в нужном им направлении, не в интересах Соединенных Штатов было развенчивать иллюзию самодостаточности созданного режима нераспространения. При этом все как бы забыли, что ключевой момент – гарантии безопасности, предоставленные ядерными государствами неядерным, так и не обрели юридическую силу.

Между тем вовсе не сами правила и нормы режима нераспространения, а четко проявленная в их новой интерпретации политическая воля двух супердержав позволила удержать «околоядерные» страны на пороге официального ядерного статуса. Эта воля вполне обошлась без юридической оболочки, ибо политический результат – не вопрос совершенства правовых норм, а вопрос соотношения сил. Силы на тот момент были равны, и логика баланса побеждала на поле как обоюдного сдерживания, так и возбранения другим вносить в глобальное противостояние элемент непредсказуемости.

Получаемая в результате переговоров международно-правовая норма, как и ее отсутствие, является четким мерилom политической реалии. То, что гарантии безопасности неядерных государств тогда так и не стали юридическими обязательствами ядерных государств, означало, что последние резервировали себе оперативный простор для отступления



от данных гарантий. В 70–80-е гг. этот недостаток компенсировался общим балансом сил, ибо всякое отступление было бы взаимообразным. Однако недостаток оставался недостатком. Во-первых, он тормозил темпы роста числа участников Договора. Директор Стокгольмского международного института исследования мира Д. Голдблат отмечает: «Несправедливое применение гарантий очень слабо побуждает страны, не являющиеся членами Договора о нераспространении, присоединиться к нему». Во-вторых, режим нераспространения практически находился в зависимости от поведения двух сверхдержав, и нарушение баланса сил между ними создавало объективные предпосылки для его развала.

С другой стороны, именно баланс сил как нельзя лучше поддерживал в созданном под него режиме нераспространения ядерного оружия необходимую стабильность. С уходом одной из сверхдержав режим нераспространения, казалось бы, благополучно переключался в постконфронтационную эпоху 90-х гг., однако на самом деле он утратил внутреннюю опору и не сможет найти ее вновь, пока его не приспособят к новым реальностям. Режим теоретически возможно вывести из-под зависимости от существующей супердержавы, но в условиях ядерной монополярности это невозможно практически.

Ядерное оружие само по себе бессмысленно, оно превращается в мощь лишь в сочетании с политической волей, а в инструмент политики – еще и при наличии соответствующей экономической базы. В этом отношении нынешняя Россия, даже пребывая на втором месте в мире по количеству ядерных боезарядов, не составляет конкуренции Соединенным Штатам. Последние же в отсутствие противовеса и юридических обязательств соблюдать гарантии безопасности неядерных стран получили объективную возможность при стечении каких-либо обстоятельств достаточно вольно варьировать модели своего поведения. Симптомы подобной тенденции начали проявляться на последнем по времени витке иракского кризиса, свидетелем которого мир стал в начале 1998 г.

Американцы и раньше сопровождали свои гарантии безопасности неядерных стран целым рядом условий. Еще в 1978 г. на уже упоминавшейся сессии Генеральной Ассамблеи ООН госсекретарь С. Вэнс огласил заявление президента Дж. Картера с изложением американской позиции. В этом заявлении говорилось, что США не будут применять ядерное оружие против неядерных государств – членов Договора о нераспространении или имеющих какие-либо иные обязательства об отказе от обладания ядерными взрывными устройствами. Вместе с тем в этом документе указывалось, что «будут составлять исключения те случаи, когда будет совершена агрессия против Соединенных Штатов, их территории или вооруженных сил, либо

против их союзников со стороны государства, являющегося союзником какого-либо ядерного государства или связанного с каким-либо ядерным государством в осуществлении этой агрессии».

Положение дел в сфере ядерных технологий, и особенно ядерных вооружений, оставляет широкий простор для интерпретации тех или иных событий в качестве угроз и предлогов для отказа от обязательств по соблюдению режима нераспространения. В этой связи возникает вопрос о необходимости широкой и универсальной системы контроля за ядерной активностью в мире, которая слишком далеко отклоняется от установленных всем мировым сообществом критериев оценки ситуаций. В рамках режима нераспространения функционирует несколько подобных институтов. Ключевым из них является МАГАТЭ, с 1968 г. ставшее официальным контролирующим органом.

Статья 3 Устава МАГАТЭ гласит, что эта организация уполномочена «устанавливать и проводить в жизнь гарантии, имеющие своей целью обеспечить, чтобы специальные расщепляющиеся и иные материалы... предоставляемые Агентством по атомной энергии или по его требованию, или под его наблюдением или контролем, не были использованы... в военных целях». Как видно уже из уставных положений МАГАТЭ, острота его полномочий направлена не на контроль за вооружением членом «ядерного клуба», а главным образом на то, чтобы не допустить появления новых ядерных держав.

В узости компетенции МАГАТЭ заключается одно из слабых мест в режиме нераспространения. Генеральный директор Агентства Х. Бликс в свое время отмечал: «Гарантии не могут предотвратить нарушение обязательств... Еще одно ограничение гарантий МАГАТЭ состоит... в том, что они не позволяют прогнозировать возможные намерения инспектируемого государства».

Это в полной мере относится не только к неядерным государствам, но и к ядерным державам. И те и другие могут воспользоваться Статьей 1 Договора о нераспространении, в которой предусмотрен выход из Договора в случае, если участник заявит, что его «высшие интересы» находятся под угрозой. Бывший заместитель генерального директора МАГАТЭ Р. Рометч считает, что всегда существует «риск аннулирования, который необходимо понять и принять».

В современных условиях нет ни необходимости, ни возможности сжиться с риском аннулирования каким-либо государством не только своих обязательств, но и всего режима нераспространения; напротив, есть необходимость скорейшим образом укрепить его и перевести на новую, еще более прочную юридическую основу. Наиболее перспективным направлением для этого является выравнивание статуса всех

участников режима нераспространения, универсализация его правил и гарантий при тщательном соблюдении баланса если не сил, то, обязательно, интересов государств-членов.

#### **11.4. Международная система экспортного контроля в целях ядерного нераспространения**

##### ***Понятие экспортного контроля***

*Экспортный контроль* – это комплекс мер, обеспечивающих реализацию установленного законодательно или через иные нормативные правовые акты порядка осуществления внешнеэкономической деятельности в отношении товаров, информации, работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности, которые могут быть использованы при создании ОМУ, средств его доставки, иных видов вооружения и военной техники.

При этом под *внешнеэкономической деятельностью* понимается внешнеторговая, инвестиционная и иная деятельность в области международного обмена товарами, информацией, работами, услугами, результатами интеллектуальной деятельности, в том числе исключительными правами на них (интеллектуальная собственность).

Таким образом, ЭК действует применительно к материалам, технологиям и информации, которые могли бы быть использованы при создании ядерного оружия, химического оружия, биологического оружия, токсинного оружия, ОМУ, основанного на иных физических принципах, средств доставки (носителей) любого ОМУ, а также, в отдельных случаях, может применяться к обычным вооружениям и военной технике.

ЭК является одним из основных инструментов по предотвращению распространения ОМУ и средств его доставки, технологий их производства и иной НТИ и знаний о них, а также материалов и технологий двойного использования – то есть тех, которые могут быть использованы как в гражданских целях, так и для производства ОМУ, его компонентов и средств его доставки.

Режим ЭК занимает особое место в политике внешнеэкономического регулирования любой развитой страны, так как одновременно он является важным инструментом внешней политики. Он основывается на запретительно-разрешительном (лицензионном) порядке экспорта определенных товаров и технологий, попавших в специальные контрольные списки. При этом экспорт понимается расширительно, фактически речь идет обо всех внешнеэкономических операциях, затрагивающих передачу контролируемых товаров или технологий<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Кириченко Э.В. Система экспортного контроля России в целях нераспространения оружия массового уничтожения / Ядерный контроль, №5, май, 1995 г. С.15.

ЭК осуществляется через создание международной системы ЭК и национальных систем ЭК государств.

### ***Международная система экспортного контроля в ядерной области***

В ядерной области создание международной системы ЭК в целях нераспространения основывается на пункте 2 статьи III ДНЯО, согласно которой каждое из государств-участников ДНЯО «обязуется не предоставлять исходного или специального расщепляющегося материала либо оборудования или материала, специально предназначенного или подготовленного для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала, любому государству, не обладающему ядерным оружием, для мирных целей, если на этот исходный или специальный материал не распространяются гарантии» МАГАТЭ.

Исходя из положения данной статьи, совместными усилиями промышленно развитых стран было создано несколько режимов ЭК в ядерной области, реализуемых через национальные законодательства этих государств, – один в рамках Комитета Цангера и два в рамках ГЯП. Совокупность данных режимов составляет международную систему контроля за экспортом предметов в рассматриваемой области деятельности.

В дальнейшем детально будут рассмотрены международная и национальная системы контроля только в ядерной области. Вместе с тем важно иметь в виду, что международная система ЭК включает в себя также такие режимы, как РКРТ, Австралийская группа, контролирующая экспорт товаров и технологий химического и биологического профиля, и Вассенаарские договоренности, контролирующие экспорт обычных вооружений, товаров и технологий двойного использования.

### ***Необходимость создания международной системы экспортного контроля в целях ядерного нераспространения***

Сразу вслед за вступлением в силу ДНЯО в 1970 году возникла острая необходимость формирования международной системы ЭК в ядерной области. Эта необходимость была обусловлена как международно-политическими, так и экономическими факторами.

Прежде всего в 1974 году Индия, находившаяся вне ДНЯО, провела испытание ЯВУ. Этот взрыв позволил отчетливо понять проблему возможности глобального распространения ядерного оружия. Для государств, которые стали относиться с благодушием к проблемам ядерного нераспространения после подписания ДНЯО, индийский взрыв послужил ясным сигналом, что еще предстоит много работы.

Вторым важным событием, оказавшим воздействие на стремление ряда государств скоординировать усилия, стало четырехкратное увеличение цен на нефть в 1973–1978 гг. В этих условиях ядерная энергетика стала заманчивой альтернативой нефтяной. Поскольку многие эксперты полагали, что уран является относительно редким элементом, то в качестве наиболее вероятной перспективы стали рассматриваться ядерные реакторы с плутониевым топливным циклом. МАГАТЭ предсказывало, что к концу 80-х годов плутониевое топливо будет использоваться примерно в 40 государствах. Проблема контроля за большими количествами выделенного плутония, который пригоден и для военных целей, представлялась серьезным испытанием для режима ядерного нераспространения<sup>12</sup>.

Кроме того, все возрастающее число государств стало проявлять интерес к переработке топлива и выделению плутония. Появилась озабоченность, что предприятия по переработке топлива, даже находясь под гарантиями МАГАТЭ, могут переключить находящийся под гарантиями плутоний для изготовления ядерного оружия в относительно короткий период, предоставляя мировому сообществу слишком мало времени для организации эффективного воздействия. Так, Пакистан, подталкиваемый проведенным Индией в 1974 г. испытанием, активизировал попытки приобрести во Франции завод по переработке ОЯТ и осуществить секретную программу по обогащению урана. Тайвань, желая укрепить свои позиции в его противостоянии с КНР, обратился к Франции с заявкой на покупку технологии переработки ОЯТ и к Великобритании с заявкой на переработку его ОЯТ с условием возвращения извлеченного из него плутония. Южная Корея, опасавшаяся своего северного соседа и неуверенная в надежности обязательств Соединенных Штатов по ее обороне, добилась приобретения технологии переработки у Франции. Ирак, в ответ на угрозы со стороны Израиля и Ирана, ускорил работы по получению возможности как обогащения урана, так и переработки плутония. Наконец, ЮАР приступила к строительству завода по обогащению урана<sup>13</sup>.

Эти события, наряду с неосмотрительной политикой в области экспорта государствами – ядерными поставщиками (например, в 1975 г. ФРГ заключила контракт с Бразилией на поставку технологии, охватывающей весь ЯТЦ), заставили ведущие государства-экспортеры задуматься о неотложных мерах по упрочению национальных структур ЭК.

Решительные шаги были предприняты в США в период администрации Джеймса Картера (1977–1981). Соединенные Штаты заявили, что

---

<sup>12</sup> Гарднер Гари Т. Ядерное нераспространение. А Премьер. Лондон, 1994. С. 42–44.

<sup>13</sup> Тимербаев Р.М. Группа ядерных поставщиков: история создания (1974–1978). М., Библиотека ПИР-Центра, 2000.

не будут далее перерабатывать ОЯТ либо экспортировать технологии обогащения и переработки.

В 1978 г. Конгресс США принял Закон о ядерном нераспространении. Этот жесткий документ, в частности, предусматривал:

- прекращение ядерной торговли с НЯОГ, имеющими ядерные установки, не находящиеся под полноохватными гарантиями;
- необходимость получать разрешение на переработку, обогащение или повторный экспорт ЯМ, полученных из Соединенных Штатов;
- запрещение ядерного экспорта в НЯОГ;
- повторное обсуждение существующих контрактов по поставкам ЯМ с целью анализа их условий.

Жесткая политика администрации Картера в области ядерного нераспространения стала, по сути, введением норм полноохватных гарантий, которые сегодня стали международно-признанной составляющей системы ЭК. Однако в 70-е годы она не нашла широкой поддержки за рубежом (за исключением Канады и Австралии). Союзники США расценили такую политику как одностороннюю попытку изменить правила ядерной торговли. Европейские государства и Япония стойко и успешно противостояли попыткам администрации Картера подтолкнуть их к отказу от национальных программ развития реакторов на быстрых нейтронах и переработки ОЯТ.

В то же время уже с начала 70-х годов на повестку дня встал вопрос о формировании международной системы контроля над ядерным экспортом<sup>14</sup>.

### *Комитет Цангера*

Комитет Цангера (названный по имени его первого председателя Клода Цангера) был создан в 1971 г., чтобы достичь общей договоренности ядерных экспортеров – членов ДНЯО по двум ключевым вопросам. Во-первых, следовало выработать взаимоприемлемое определение того, что составляет «оборудование или материал, специально предназначенные или подготовленные для обработки, использования или производства специального расщепляющегося материала». Во-вторых, следовало договориться об условиях и процедурах, которые должны регулировать экспорт такого оборудования или материала в целях соблюдения обязательств по статье III.2 ДНЯО на основе добросовестной коммерческой конкуренции.

К сентябрю 1974 г. члены Комитета Цангера договорились об основных правилах игры, которые были сформулированы в двух отдельных документах. Меморандум «А» давал определение и касался экспорта исходного и специального расщепляющегося материала. Меморандум

---

<sup>14</sup> Тимербаев Р.М. Группа ядерных поставщиков: история создания (1974–1978). М., Библиотека ПИР-Центра, 2000.

«В» давал определение и касался экспорта оборудования и применяемого в атомной промышленности неядерного материала (контрольный, или исходный список Комитета Цангера). Одновременно была достигнута договоренность относительно обмена информацией о фактическом экспорте или выдаче лицензий на экспорт в любые ЯОГ и не являющиеся участниками ДНЯО, через систему конфиденциальных отчетов, которые ежегодно распространяются среди членов Комитета.

Консенсус, лежащий в основе Договоренностей, как их называют, и был официально признан государствами-членами Комитета путем обмена нотами, которые представляют собой односторонние декларации о том, что Договоренности будут ими осуществляться через их национальные законодательства.

С точки зрения эффективности ЭК рекомендации Комитета Цангера имели явные слабости. Прежде всего эти рекомендации привязаны к ДНЯО. Франция, один из крупнейших ядерных экспортеров, в 70-е годы еще не являлась участницей ДНЯО. Вместе с тем, она поставила реактор Ираку и передала технологию переработки ОЯТ Южной Корее и Пакистану.

Гарантии требовались только для поставок оборудования, которое было специально сконструировано для ядерной деятельности, в то время как экспорт товаров двойного использования осуществлялся без гарантии. «Исходный список» не включал такие технологии, критические с точки зрения нераспространения ядерного оружия, как установки по производству тяжелой воды, обогащению урана и переработке ОЯТ<sup>15</sup>.

### *Группа ядерных поставщиков*

После произведенного Индией испытания 1974 г. страны-поставщики ядерных технологий пришли к выводу о необходимости выработать новые международные нормы ЭК. Кроме того, был нужен институт, напрямую не привязанный к ДНЯО, что дало бы возможность странам, не присоединившимся к Договору, участвовать в многостороннем режиме контроля над ядерным экспортом.

Начиная с апреля 1975 г. в Лондоне проходили переговоры СССР, США, Великобритании, Франции, Канады, ФРГ и Японии (ГЯП) по выработке единых правил регулирования ядерного экспорта. 27 января 1976 г. участники переговоров обменялись нотами, в которых были одобрены руководящие принципы ядерных поставок.

В состав ГЯП вошли основные промышленно развитые страны, в том числе и не присоединившиеся в то время к ДНЯО, в частности Франция.

---

<sup>15</sup> Кириченко Э.В. Разоружение и безопасность / ИМЭМО РАН. М., Наука, 1997. С. 132.

Позднее было решено, что принятие нового члена ГЯП осуществляется на основе консенсуса. При рассмотрении вопроса о членстве принимаются в расчет следующие факторы:

- 1) способность поставлять предметы (в том числе транзитные предметы), включенные в приложения к Части 2 Руководящих принципов ГЯП;
- 2) приверженность Руководящим принципам ГЯП и принятие действий в соответствии с ними;
- 3) наличие юридически обязательной национальной системы ЭК, реализующей приверженность действиям в соответствии с Руководящими принципами;
- 4) присоединение к ДНЯО, договору Тлателолко или другому аналогичному международному соглашению о ядерном нераспространении, а также полное выполнение обязательств по таким договорам;
- 5) поддержка международных усилий по нераспространению ОМУ и средств его доставки.

В 1977 году ГЯП единогласно приняла Руководящие принципы для ядерного экспорта в окончательном виде. В этот документ вошло требование о проведении инспекций МАГАТЭ по списку ядерного экспорта (параллельное требование к правилу Комитета Цангера) и ряд других важных ограничений, касающихся передачи контролируемых предметов.

ГЯП интегрировала Исходный список в свои документы, добавив в него такие чувствительные технологии, как производство тяжелой воды, обогащение урана, переработка ОЯТ, а также оружейные расщепляющиеся материалы и тяжелую воду.

Участники ГЯП согласились на ряд серьезных дополнительных ограничений и гарантий. В частности, товары, импортируемые НЯОГ, не должны использоваться для производства каких-либо ЯВУ (в том числе для МЯВ).

Важным положением Руководящих принципов стало применение гарантий МАГАТЭ не только при экспорте ЯМ и оборудования, но и при вывозе ядерной технологии, по крайней мере такой, которая будет сочтена критичной с точки зрения нераспространения. Это положение позволяло ввести контроль над возможным копированием установок по производству тяжелой воды, обогащению урана и переработке ОЯТ, исходя из имевшегося опыта, когда, в частности, Индия получила плутоний для ЯВУ с реактора, скопированного с реактора, ввезенного из Канады.

Данное положение Руководящих принципов способствовало, в частности, тому, что ФРГ и Франция включили требование о распространении гарантий на критические технологии в свои соглашения с Бразилией и Пакистаном<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Ахматзян И.А. Сборник документов: нераспространение ядерного оружия. – М.: Изд-во «Международные отношения», 1993. С. 19.



Руководящие принципы требуют таких же заверений в случае ре-экспорта, как и при прямой поставке; кроме того, должно быть получено согласие ядерного экспортера на сделку.

Было введено требование обеспечения надежной физической защиты предметов ядерного экспорта от хищений и диверсий.

11 января 1978 г. участники ГЯП (к тому времени их насчитывалось 15) направили в МАГАТЭ письма, к которым прилагался текст Руководящих принципов для ядерного экспорта. МАГАТЭ распространило их как свой официальный документ (INF-CIRC/254) в целях информирования всех государств-членов Агентства.

ГЯП, вместе с тем, на первом этапе своей деятельности не смогла решить ряд важных вопросов, что сказывалось на эффективности режима.

Среди проблем, которые ставились в ходе встреч ГЯП и которые не удалось тогда решить, был вопрос о полноохватных гарантиях. Отрицательная позиция Франции и ФРГ, оговорки Японии, Италии и Швейцарии не позволили включить требование о распространении гарантий МАГАТЭ на всю ядерную деятельность любых государств-получателей, не обладающих ядерным оружием, в Руководящие принципы ядерного экспорта. Советский Союз, активно поддерживавший полноохватные гарантии вместе с Великобританией, Канадой и восточноевропейскими странами, не стал, в отличие от этих государств, вводить данное требование в свое внутреннее законодательство, мотивируя это необходимостью достижения общеобязательной договоренности.

Изменение позиции США (1978), Японии (1989) и ФРГ (1990) открыло дорогу для согласованных решений в этой области.

Другой проблемой, требовавшей решения на многосторонней основе, стал контроль за экспортом оборудования и материалов двойного использования, а также соответствующей технологией, применяемых в ядерных целях. Поскольку речь шла о значительном расширении контроля над предметами экспорта по сравнению с Исходным списком, односторонние меры государств-поставщиков могли иметь негативные экономические последствия.

С большим трудом участники ГЯП пришли к согласию создать многосторонний механизм контроля за экспортом продукции двойного использования, применяемой в ядерной области. Любопытно, что такой режим, касающийся более широкого перечня предметов двойного использования, действовал в рамках Координационного комитета по многостороннему экспортному контролю (КОКОМ), целью которого было недопущение утечки высоких технологий в страны ОВД, которые представляли минимальный риск с точки зрения интересов нераспространения ядерного оружия. В то же время западные страны широко поставля-

ли чувствительные предметы двойного использования будущим пороговым странам «третьего мира», практически все военные ядерные программы которых основывались на западных технологиях<sup>17</sup>.

Слабым звеном существовавшей системы ЭК было отсутствие механизма обмена информацией и постоянных консультаций между участниками ГЯП.

К 90-м годам стали слишком очевидными недочеты режима контроля над ядерным экспортом. Интернационализация научно-технических знаний привела к резкому увеличению числа поставщиков чувствительных технологий. Страны, тайно работавшие над военными ядерными программами, сменили тактику закупок: если ранее они предпочитали строительство ядерного объекта «под ключ», то теперь закупали отдельные товары и технологии двойного использования через посредников и интегрировали эти «узлы» в свою ядерную инфраструктуру.

Существует много обходных путей для размещения заказов на продукцию, подлежащую ЭК.

Так, до операции «Буря в пустыне» Ирак систематически обманывал иностранных поставщиков и правительства относительно конечных получателей закупленных товаров. Разносторонность и широкие рамки иракской программы впоследствии стали побудительным мотивом при принятии решения об ужесточении процедур и контрольных мер МАГАТЭ.

Война в Персидском заливе подтолкнула промышленно развитые страны к переосмыслению политики ЭК, и 27 членов ГЯП после почти 14-летнего перерыва начали работу над совершенствованием этого режима.

Встреча ГЯП 3 апреля 1992 г. в Варшаве ознаменовала новый этап в эволюции многостороннего режима ядерного ЭК. Во встрече принимала активное участие Россия, взявшая на себя международные обязательства Советского Союза в области ядерного нераспространения.

Приложения к Руководящим принципам для ядерного контроля были обновлены и гармонизированы с Исходным списком, обновленным участниками Комитета Цангера после 1978 г.

В 1992 г. были приняты три новых важных документа, касающихся экспорта товаров и технологий двойного использования, применяемых в ядерной области: перечень последних, Руководящие принципы и Меморандум о взаимопонимании по процедурным вопросам. Государство, подписавшее Меморандум, обязалось обмениваться информацией и уведомлять партнеров о предоставленных и неутвержденных лицензиях. Члены ГЯП также приняли правило, согласно которому, хотя окончательное решение о выдаче лицензии принимает каждое государство исходя из собст-

---

<sup>17</sup> Кириченко Э.В. Регулирование ядерного экспорта. Цит. соч. С. 133.

венного понимания проблемы, все участники обязуются не разрешать экспорт без предварительной консультации с правительством страны, по определенным причинам запретившей экспорт данного товара или технологии.

На этой же встрече было принято заявление о полноохватных гарантиях (full-scope safeguards) как обязательном условии ядерных поставок в любое НЯОГ.

ГЯП проводит ежегодные пленарные заседания с ротацией председателя. Последние пленарные заседания проводились в Хельсинки (1995), Буэнос-Айресе (1996), Оттаве (1997), Эдинбурге (1998), Флоренции (1999), Париже (2000). В дополнение к этим пленарным заседаниям ГЯП имеет два постоянно действующих органа: консультации по вопросам режима двойного использования и комиссию по совместному обмену информацией. Их председатели также меняются ежегодно.

### *Руководящие принципы для ядерного экспорта*

Первый набор Руководящих принципов ГЯП регламентирует экспорт предметов, предназначенных исключительно для ядерного использования<sup>18</sup>. Они включают:

- 1) ЯМ;
- 2) ядерные реакторы и оборудование для них;
- 3) неядерные материалы для переработки, обогащения и конверсии ЯМ, а также для изготовления топлива и производства тяжелой воды;
- 4) технологию, связанную с каждым из перечисленных выше пунктов.

Все участники ГЯП договорились, что к ядерному экспорту для мирных целей в любое НЯОГ должен применяться ряд основных принципов гарантий и контроля. В этой связи поставщики определили экспортный Исходный список и общие критерии передач ядерных предметов.

- Поставщики должны разрешать передачу предметов, указанных в Исходном списке, только при наличии официальных правительственных заверений со стороны получателя, ясно исключающих использование, которое может привести к созданию ЯВУ.
- Все ЯМ и установки, указанные в согласованном Исходном списке, должны обеспечиваться эффективной физической защитой для предотвращения несанкционированного использования или обращения с ними. Осуществление мер физической защиты в стране-получателе является обязанностью правительства этой страны. Это положение Руководящих принципов получило дальнейшее развитие в Конвенции о физической защите ядерного материала (всту-

---

<sup>18</sup> Кириченко Э.В. Регулирование ядерного экспорта. В книге: Разоружение и безопасность. 1997–1998. ИМЭМО РАН.-М., Наука, 1997.

пила в силу 8 февраля 1987 г.). Конвенцией предусмотрено обеспечение безопасности ЯМ при международных перевозках. Уровни физической защиты определяются в зависимости от категорий ЯМ.

- Требования вышеприведенных пунктов должны также применяться к установкам для переработки, обогащения или производства тяжелой воды, использующим технологию, непосредственно переданную поставщиком или полученную через переданные установки или их основные определяющие компоненты. Поставщики должны проявлять сдержанность при передаче чувствительных установок, технологии и материалов, пригодных для производства оружия. При передаче установок или технологии для обогащения страна-получатель должна согласиться на то, что ни передаваемая установка, ни любая установка, основанная на такой технологии, не будет проектироваться или использоваться для производства урана с обогащением свыше 20 % без согласия страны-поставщика, о чем должно быть уведомлено МАГАТЭ. Поставщики должны передавать предметы, указанные в Исходном списке, включая чувствительные технологии, только при наличии заверения со стороны получателя, что в случае реэкспорта таких предметов или передач предметов, произведенных с помощью импортированного оборудования, установок или технологии, получатель реэкспорта (передачи) представит те же самые заверения, какие поставщик требует при первоначальной передаче. В дополнение к этому, нужно согласие поставщика для любого реэкспорта вышеперечисленных предметов, а также тяжелой воды или пригодного для производства оружия материала.
- Поставщики не должны разрешать передачу оборудования, материалов или связанной с ними технологии для использования в НЯОГ в целях создания ЯВУ или для деятельности в области ЯТЦ, не находящейся под гарантиями, или в целом, если существует неприемлемый риск переключения на такую деятельность.

ГЯП подтвердила, что ЭК является в настоящее время неотъемлемым компонентом режима ядерного нераспространения и рекомендовала странам-участницам разработать соответствующие национальные системы.

### ***Руководящие принципы экспорта предметов двойного использования, применяемых в ядерных целях***

В 1992 г. в рамках ГЯП стороны пришли к соглашению, что поставщики должны разработать национальные процедуры лицензирования экспорта для передачи оборудования, материалов или соответствующей технологии, которые должны включать предупредительные меры в случае нарушений.

Второй набор Руководящих принципов ГЯП регламентирует экспорт ядерных предметов и технологий двойного использования, то есть

продукции, которая может значительно содействовать не поставленной под гарантии деятельности в области ЯТЦ или ЯВУ, однако имеет также и неядерное применение. К ним относятся:

- 1) промышленное оборудование (например, станки);
- 2) материалы (например, волокнистые и нитеподобные материалы);
- 3) оборудование для разделения изотопов урана;
- 4) установки для производства тяжелой воды;
- 5) оборудование для разработки имплозивных систем;
- 6) взрывчатые вещества и связанное с ними оборудование;
- 7) оборудование для ядерных испытаний;
- 8) прочие предметы (например, системы нейтронных генераторов);
- 9) технологии, связанные с каждым из перечисленных выше пунктов.

Таким образом, в Руководящих принципах был признан факт существования класса технологий и материалов, которые являются особенно чувствительными, так как могут непосредственно привести к созданию материала, используемого в оружии.

При рассмотрении вопроса о разрешении таких передач поставщики должны проявлять сдержанность и принять во внимание следующие факторы:

- является ли государство-получатель участником ДНЯО, договора Тлателолко или аналогичного международного соглашения о нераспространении ядерного оружия, и имеет ли оно действующее соглашение с МАГАТЭ о гарантиях, применимое ко всем видам мирной ядерной деятельности;
- имеет ли государство-получатель, не являющееся участником указанных договоров, любые действующие, проектируемые или строящиеся объекты или установки, которые не подпадают или не будут подпадать под гарантии МАГАТЭ;
- соответствуют ли передаваемые оборудование, материалы или связанная с ними технология заявленному конечному назначению и отвечает ли это заявленное конечное назначение конечному пользователю;
- предполагается ли использовать передаваемые оборудование, материалы или соответствующую технологию в научных исследованиях или при разработке, проектировании, производстве, создании, эксплуатации или обслуживании любой установки по переработке ОЯТ или обогатительной установки;
- направлены ли действия, заявления и политика правительства государства-получателя на поддержку режима нераспространения ядерного оружия и действует ли государство-получатель в соответствии со своими международными обязательствами в области нераспространения;
- занимаются ли получатели подпольным или незаконным приобретением ядерных компонентов;

- не было ли отказано в разрешении на передачу конечному пользователю и не использовал ли последний разрешенную ранее передачу в целях, не совместимых с Руководящими принципами.

В соответствии с основным принципом, требующим определить, не представляет ли экспорт неприемлемый риск переключения на другие цели, поставщик, прежде чем разрешить передачу, должен сначала получить заявление конечного пользователя с указанием видов и мест конечного использования предлагаемых для передачи компонентов и четкие заверения в том, что предлагаемые для передачи компоненты или их воспроизведенные копии не будут применяться в любой деятельности по созданию ЯВУ или деятельности в области ЯТЦ, не находящейся под гарантиями МАГАТЭ.

Прежде чем разрешить передачу оборудования, материалов или соответствующей технологии в страну, не присоединившуюся к Руководящим принципам, поставщики должны получить заверения в том, что получателем предварительно будет запрашиваться (в соответствии со своим национальным законодательством и практикой) согласие на реэкспорт оборудования, материалов, соответствующей технологии или любой их воспроизведенной копии в «третью страну».

### *Заявление о полноохватных гарантиях*

Передача ядерных установок, оборудования, компонентов, материала и технологии, упомянутых в экспортном Исходном списке Руководящих принципов для ядерных передач, не должна разрешаться НЯОГ, если это государство не ввело в действие соглашение с МАГАТЭ, требующее применения гарантий в отношении всего исходного и специального расщепляющего материала в своей нынешней и будущей мирной ядерной деятельности. Передача может быть разрешена лишь в исключительных случаях, когда она считается весьма важной для безопасной эксплуатации существующих установок, и если в отношении последних применяются гарантии. Поставщики должны предоставлять информацию и при необходимости проводить консультации, когда они намереваются разрешить такие поставки.

Накануне очередной встречи ГЯП, 27 марта 1992 г. Президент РФ Б.Н. Ельцин подписал Указ № 312, который установил, что экспорт из России ЯМ, технологий, оборудования, установок и специальных неядерных материалов, предназначенных для их обработки, использования или производства, в любое НЯОГ, может осуществляться только при условии постановки всей ядерной деятельности этого государства под гарантии МАГАТЭ. Таким образом, в национальном российском законодательстве был кодифицирован принцип полноохватных гарантий. Это помогло прийти к консенсусу по данному вопросу и принять соответствующее заявление в рамках ГЯП.

Россия настояла (и ее поддержал ряд других участников) на том, что эта политика не применяется к существовавшим на тот момент соглашениям и контрактам.

В то же время руководящие принципы ядерного экспорта, принятые в ГЯП, допускают в исключительных случаях экспорт в НЯОГ, не поставившие всю свою деятельность под контроль Агентства, для обеспечения безопасности эксплуатации уже действующих ядерных установок, находящихся под гарантиями МАГАТЭ.

Принятый в мае 2000 г. Указ Президента России В.В. Путина дополнил действующие в России нормы, регулирующие ядерный экспорт, вышеуказанным положением. В частности, в Указе говорится, что такой экспорт может осуществляться по индивидуальным решениям Правительства России при соблюдении следующих условий:

- осуществление поставки не противоречит международным обязательствам Российской Федерации;
- правительством принимающего государства предоставлены официальные заверения, исключающие такое использование поставляемых материалов, оборудования и технологий, которое может привести к созданию ядерного оружия или других ЯВУ;
- поставка осуществляется исключительно для обеспечения безопасной эксплуатации существующих на территории принимающего государства ядерных установок;
- к указанным установкам применяются гарантии МАГАТЭ.

#### *Другие составляющие международной системы экспортного контроля в целях ядерного нераспространения*

Помимо режима Комитета Цангера и двух режимов в рамках ГЯП, вопросы ЭК в ядерной области являются предметом активного обсуждения между ведущими промышленно развитыми странами на двусторонней и многосторонней основе.

Так, чтобы снять определенную напряженность и непонимание, возникшие в отношениях между Россией и США в конце 90-х годов по вопросу об ЭК (прежде всего в связи с подозрениями США о несанкционированных утечках ракетных технологий из России в Иран в нарушение РКРТ, но также и по другим вопросам, касающимся, в частности, российско-иранского сотрудничества в ядерной области), в 1998–1999 гг. было создано пять двусторонних российско-американских рабочих групп по вопросам ЭК. Одна из них, в частности, рассматривала спорные вопросы, связанные с ядерным экспортом.

На многосторонней основе вопросы ЭК ежегодно обсуждаются на встречах ведущих промышленно развитых стран (по схеме «семерка»

плюс Россия). В частности, в мае 1998 г. по итогам совещания «Большой восьмерки» в Бирмингеме по инициативе России и США в совместное коммюнике был включен пункт о проблемах нераспространения ОМУ и средств его доставки. В нем стороны подтвердили свою приверженность обеспечению эффективного претворения в жизнь мер ЭК в соответствии с обязательствами по режиму нераспространения ОМУ.

Страны «Большой восьмерки» участвовали в разработке механизма экспортно-импортного контроля по Ираку в соответствии с резолюцией 715 (1991) СБ ООН.

Страны «Большой восьмерки» предоставляют МАГАТЭ на добровольной основе информацию об экспорте и импорте ЯМ, оборудования и специальных неядерных материалов в рамках универсальной отчетности, введенной с 1992 г.

В ходе Московского саммита по ядерной безопасности (1996) страны «Большой восьмерки» совместно заявили, что все государства-поставщики должны придерживаться в своей деятельности по контролю за ядерным экспортом и импортом «Принципов и целей ядерного нераспространения и разоружения», принятых на КРП ДНЯО 1995 г. При этом страны «восьмерки» согласились, что особое внимание следует уделять обеспечению осуществления неотъемлемого права всех участников ДНЯО развивать исследования, производство и использование ядерной энергии в мирных целях без дискриминации и подтвердили свои обязательства способствовать участию в возможно более полном обмене оборудованием, материалами, научной и технической информацией об использовании ядерной энергии в мирных целях.

***Место Комитета Цангера и Группы ядерных поставщиков  
в международной системе экспортного контроля  
в целях ядерного нераспространения***

Комитет Цангера и ГЯП, решая, по сути, одну и ту же задачу, успешно функционируют, дополняя друг друга в совершенствовании принципов контроля за ядерным экспортом и уточнении Исходных списков. Однако в Комитете Цангера обсуждается вопрос о целесообразности иметь одновременно оба этих контролирующих органа. Отдельные участники считают, что между Комитетом Цангера и ГЯП уже достигнут высокий уровень взаимодействия, а проводимая в их рамках работа практически не различается.

В то же время высказывается и мнение о том, что существует необходимость дальнейшего развития такого взаимодействия, в частности, в ходе подготовки к КР ДНЯО 2005 г. (формально ГЯП не входит в структуру, обеспечивающую выполнение данного Договора).



Ряд развивающихся НЯОГ (в частности, Иран) крайне сдержанно относятся к существованию и деятельности ГЯП, воспринимая ее как закрытый картель развитых стран и обвиняя ее в дискриминационной практике.

Действительно, подход «Север-Юг» всегда присутствовал в деятельности ГЯП. Обмен информацией осуществляется строго внутри Группы. Так, с целью повышения эффективности контрольного механизма страны-участницы ГЯП стали активнее обмениваться между собой информацией о нарушениях режима экспорта материалов и оборудования двойного использования, информацией о ядерных программах в странах-неучастницах ДНЯО, об отказах в выдаче лицензий национальными компетентными органами при экспорте материалов и оборудования двойного использования. Ведущие западные страны предлагают расширить для этой цели обмен информацией, в том числе конфиденциальной, получаемой с использованием возможностей национальных спецслужб.

Это обстоятельство не позволяет требовать полной транспарентности ГЯП. В то же время в деятельности ГЯП во второй половине 90-х годов наметились некоторые изменения. Проведена активная работа по привлечению новых стран – потенциальных ядерных поставщиков к участию в экспортном режиме, особенно стран СНГ (Украины, Казахстана, Белоруссии, Узбекистана). Присоединение Аргентины к многостороннему режиму контроля над ядерными и двойными предметами, используемыми в ядерных целях, по мнению ряда исследователей, открыло перед ГЯП новые перспективы<sup>19</sup>.

Важное значение имело проведение в 1996 г. семинара по ЭК в качестве своеобразного ответа ГЯП развивающимся странам в связи с упреками в «закрытости» и «избранности» этой организации. Трехдневный семинар состоялся в Вене накануне ежегодной Генеральной конференции МАГАТЭ, что обеспечило присутствие более 70 государств. Таким образом, государства-участники ГЯП приступили к осуществлению политики большей транспарентности. В ходе семинара представители развивающихся государств (как члены ДНЯО, так и неучастники Договора, не члены МАГАТЭ – в частности, Индия) смогли получить более детальное представление о методах работы ГЯП, механизме принятия решений об экспорте или об отказе, о составлении контрольных списков и т. п. Представители многих развивающихся НЯОГ позитивно оценили начало такого диалога. Вместе с тем не стоило бы воспринимать политику большей транспарентности, проводимую ГЯП, как далеко идущий шаг, так как открытость информации ГЯП все равно носит весьма ограниченный характер.

---

<sup>19</sup> Кириченко Э.В. Регулирование ядерного экспорта. Цит. соч. С. 135.

Надо иметь в виду и противоречивые тенденции внутри самой ГЯП. Так, некоторые ее члены выступают за составление «черных списков» стран. В то же время большинство в ГЯП полагает, что при определении возможности экспорта в какую-либо страну следует руководствоваться ограничениями, связанными с санкциями ООН, а также членством в ДНЯО и наличием соглашения с МАГАТЭ о полноохватных гарантиях. Действительно, если бы члены ГЯП стали применять какие-либо другие ограничения по отношению к членам ДНЯО, это могло бы привести к разрушению всего режима.

### *Всеобъемлющий контроль*

Идея всеобъемлющего контроля заключается в том, что любой экспорт не должен осуществляться, если он может быть каким-либо образом направлен на производство ОМУ, даже если экспортируемые материал или технология не включены в контрольные списки. Политика всеобъемлющего ЭК была инициирована в 1975 г. в рамках ГЯП Великобританией и Советским Союзом, а затем поддержана Соединенными Штатами, которые включили это понятие в национальную систему ЭК. При этом международные юридически обязательные договоренности по всеобъемлющему контролю отсутствуют.

Согласно правилам всеобъемлющего контроля, действующим в ряде государств (в частности, в России), юридическим или физическим лицам запрещается заключать, совершать внешнеэкономические сделки с товарами, информацией, работами, услугами, результатами интеллектуальной деятельности или участвовать в них любым иным образом в случае, если таким лицам достоверно известно, что данные товары, информация, работы, услуги, результаты интеллектуальной деятельности будут использованы иностранным государством или иностранным лицом для целей создания ОМУ и средств его доставки.

Экспортеры обязаны получить специальное разрешение национального органа по ЭК на осуществление внешнеэкономических операций с товарами, информацией, работами, услугами, результатами интеллектуальной деятельности, не подпадающими под действие контрольных списков, если они информированы этим или иным компетентным государственным органом или же сами имеют основания полагать, что данные товары, информация, работы, услуги, результаты интеллектуальной деятельности могут быть использованы в целях ядерного распространения.

Как пример, можно привести проблему экспорта осциллографов. Так, существуют осциллографы, которые использовались в период первых ядерных испытаний, подобные находятся сейчас практически в любой школе. С другой стороны, существуют современные высокочувствительные осциллографы. Когда государство X получает заявку от государства Y

на приобретение самых современных осциллографов, согласно правилам всеобъемлющего контроля соответствующие ведомства государства X, прежде чем согласиться на поставку, должны выяснить, почему покупается оборудование именно такого качества, на какие цели оно может быть направлено, чем занимается та компания, которая эти осциллографы покупает, есть ли возможность их перепродажи в страну Z и т. д.

Процедуры по всеобъемлющему контролю весьма дорогостоящи. Поэтому позволить их себе может очень ограниченное число государств.

### *Международная система экспортного контроля в XXI веке*

Международное сообщество сейчас стоит перед непростым выбором: как действовать дальше – либо попытаться усовершенствовать существующую систему ограничений, которая базируется на принципах, выработанных еще в период «холодной войны», либо взять наиболее разработанные национальные принципы и системы и, адаптировав их к глобальным реалиям, предложить мировому сообществу.

Наиболее плодотворным был бы путь формирования международного консенсуса вокруг вопросов ЭК через широкое обсуждение встающих в этой связи проблем. Отсутствие международного консенсуса, например, в связи с инспекциями ООН в Ираке, повлекло негативные последствия. Однако при всей важности инспекций в Ираке, они представляют собой лишь один из эпизодов политики нераспространения ОМУ. В случае же с формированием глобальной системы ЭК речь идет о системе отношений с десятками государств, которая к тому же должна существовать в течение длительного времени. Можно представить, какими последствиями для мирового сообщества обернется восприятие экспортных ограничений в качестве нелегитимных даже со стороны одной из групп развивающихся стран. Не стоит рассчитывать, что в мировой торговле есть только одна-две калитки, у которых достаточно поставить часовых.

Таблица 11.1

#### *Участие государств мира в режимах ЭК*

Название государства	Комитет Цангера	ГЯП	Австралийская группа	РКРТ	Вассенаарские договоренности
Австралия	+	+	+	+	+
Австрия	+	+	+	+	+
Аргентина	+	+	+	+	+
Белоруссия		+			
Бельгия	+	+	+	+	+
Болгария	+	+			+

Окончание табл. 11.1

Название государства	Комитет Цангера	ГЯП	Австралийская группа	РКРТ	Вассенаарские договоренности
Бразилия		+		+	
Великобритания	+	+	+	+	+
Венгрия	+	+	+	+	+
Германия	+	+	+	+	+
Греция	+	+	+	+	+
Дания	+	+	+	+	+
Израиль				(+)	
Ирландия	+	+	+	+	+
Исландия			+	+	
Испания	+	+	+	+	+
Италия	+	+	+	+	+
Канада	+	+	+	+	+
Кипр		+			
Китай	+			(+)	
Корея, Южная	+	+	+		+
Латвия		+			
Люксембург	+	+	+	+	+
Нидерланды	+	+	+	+	+
Новая Зеландия		+	+	+	+
Норвегия	+	+	+	+	+
Польша	+	+	+	+	+
Португалия	+	+	+	+	+
Россия	+	+		+	+
Румыния	+	+	+	(+)	+
Словакия	+	+	+	(+)	+
Словения	+				
США	+	+	+	+	+
Турция	+	+		+	+
Украина	+	+		+	+
Финляндия	+	+	+	+	+
Франция	+	+	+	+	+
Чехия	+	+	+	+	+
Швейцария	+	+	+	+	+
Швеция	+	+	+	+	+
ЮАР	+	+		+	
Япония	+	+	+	+	+
ИТОГО:	35	38	30	32(4)	33

Примечание: (+) – соблюдение РКРТ Израилем, Китаем, Румынией и Словакией. Источник: [www.iaea.org/woridatom](http://www.iaea.org/woridatom), [www.state.gov](http://www.state.gov).

Международному сообществу предстоит ответить на сложный вопрос о методах воздействия на государства (или их компании), нарушающие международный режим ЭК. Что это должны быть за методы – эмбарго, полномасштабные экономические санкции, вооруженное принуждение? Сомнения в эффективности механизмов ООН выдвигают вопрос и о том, какие международные институты имеют право на введение и выбор таких механизмов принуждения, или все же СБ ООН остается единственным легитимным международным органом, правомочным принимать решения о подобном воздействии.

В XXI век переходит такая традиционная проблема ЭК, как естественное противостояние между государством и экспортером. Экономическим интересам частного предпринимателя, а следовательно и государства, отвечает всемерное расширение экспорта, в то время как интересы безопасности отдельных стран и всего международного сообщества требуют отсечь от общих экспортных потоков те товары и технологии, которые несут в себе опасность распространения. Разрешение этого противоречия – нахождение оптимального баланса между приверженностью принципам свободной торговли и необходимостью ограничить опасный экспорт – ставит задачи для тех, кто призван от лица государства заниматься ЭК.

В ближайшие годы проблемы ЭК переместятся в основном в сферу контроля над экспортом биотехнологий, позволяющих достаточно быстро и дешево наладить производство биологического оружия, а также в сферу контроля над ракетными технологиями (в этой области распространение происходит наиболее явно, и уже наблюдается феномен «вторичного распространения», когда государства, лишь недавно сами получившие доступ к передовым ракетным технологиям, передают свои знания другим). В этих условиях вопросы контроля над ядерным экспортом не будут находиться на острие международных дискуссий; в то же время роль Комитета Цангера и ГЯП будет по-прежнему весьма высокой.

Следует полагать, что одним из самых острых вопросов ЭК начала XXI века станет контроль над экспортом технологий, а также НТИ, которая может быть использована при создании ядерного оружия.

Хотя с целью предотвращения незаконного экспорта материалов в государствах-экспортерах создана и действует уже отлаженная система, включающая в себя, в том числе, и таможенный контроль, воспрепятствовать утечкам знаний и информации крайне сложно. Поэтому среди нерешенных проблем ЭК появляется и вопрос о так называемой «неосязаемой» передаче технологий, то есть о передаче знаний в процессе обучения, научных обменов, по каналам компью-

терной связи, через обмен НТИ, предоставление докладов, научно-исследовательских работ и т. д. Даже если предположить, что все зарубежные передвижения всех ученых-ядерщиков всех пяти ЯОГ, являющихся носителями критически важных знаний в области создания ядерного оружия, будут находиться под постоянным контролем со стороны национальных спецслужб, пока трудно представить, как в эпоху Интернета можно предотвратить передачу нежелательной информации. По крайней мере, в настоящее время задача такого тотального контроля не под силу ни одному государству.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *К главе 2*

1. Мир в цифрах. – М.: Мир, 2002, 2004.
2. Россия в цифрах. – М.: Мир, 2000, 2003.
3. Энергетика: цифры и факты. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1993–1998.
4. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 1991. – № 2; 1992. – № 4; 1993. – № 3; 1996 – № 1.
5. Атомная энергия. – 1989. – Т. 67. – Вып. 1; 1996. – Т. 81. – Вып. 2.
6. Справочные данные МАГАТЭ. – 2000. – Вып. 1.
7. Справочник по ядерной энерготехнологии. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – ЦНИИАтоминформ. – 1991. – № 4; 1992. – № 2; 1997. – № 7–8, 11.
9. Там же. – ЦНИИАтоминформ. – 1998. – № 3–4.
10. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – ЦНИИАтоминформ. – 1998. – № 7–8, № 12.
11. Энергия. – 1999. – № 1; 1996. – № 1, 2, 5, 9; 1998. – № 2; 1999. – № 4.
12. Атомная техника за рубежом. – 1998. – № 5.
13. Пшакин Г.М., Гераскин Н.И., Муругов В.М. и др. Ядерное нераспространение. – М.: МИФИ, 2004, 2006. – 304 с.
14. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерный топливный цикл. Проблемы решения: учебное пособие. – Томск, 2004.
15. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
16. NucLEnergy. – 1996. – V. 5. – № 3.

### *К главе 3*

1. Гровс Л. Теперь об этом можно рассказать. – М.: Атомиздат, 1964.
2. Юнг Р. Ярче тысячи солнц. – М.: Атомиздат, 1961.
3. Харитон Ю.Б., Смирнов Ю.И. – Изд-во: Энергия, 1993. – № 9.
4. Круглов А.К. – Изд-во: Энергия, 1994. – № 9.
5. Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. – Москва: ЦНИИАтоминформ, 1995.
6. Бомба, студия НЕКОС. – М.: Арзамас-16: РФЯЦ, 1993.
7. Губарев. Белый архипелаг Сталина. – М.: Молодая гвардия, 2004.
8. Харитон Ю.Б., Смирнов Ю.Н. Мифы и реальность советского атомного проекта. – Арзамас-16 РФЯЦ, 1994.

9. 50-летие физико-технического образования в Сибири. Томский физико-технический: история, воспоминания, традиции. –Томск: Изд. ТПУ, 2000.
10. Действие ядерного взрыва. – М.: Изд-во «Мир», 1971.
11. Ради мира на Земле. – Томск: Изд-во «Янсон», 1999.
12. Феоктистов А. Оружие, которое себя исчерпало. – М., 1999.
13. Жежерун И.Ф. Строительство и пуск первого в СССР атомного реактора. – М.: Атомиздат, 1978.
14. Создание русской бомбы. От Сталина до Ельцина. – Вестью Пресс Булдер Сан-Франциско Оксфорд.
15. Колдобский А., Насонов В. Вокруг атомной энергии: правда и вымыслы. – М.: МИФИ, 2002.
16. Ядерное разоружение, нераспространение и национальная безопасность. – Саров; Москва: Институт стратегической стабильности, ВНИИ ЭФ. – 2001.
17. Бюллетень по атомной энергии. – 2005. – № 8.
18. Как Россия перехаритонила Америку / Известия. 28 февраля 2004.
19. Атомный проект СССР: документы и материалы в 3 т. / под общей ред. Л. Рябева. – М.: Наука, 1998.
20. Круглов А.К. Штаб Атомпрома. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1998.
21. Атомная наука и техника СССР / под общей ред. А.М. Петросьянца. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
22. Ядерный доклад. – М: Центр «Карнеги». – М., 2002. – Вып. 6.
23. Кузнецов В.М. Ядерная опасность. – М.: Изд. «ЭПИцентр», 2003.
24. Семипалатинский полигон (создание, деятельность, конверсия). – Алма-Аты, 2003.
25. Баранов И.Л., Карлинский С.П. «Тайфун» меняет профессию // Судостроение. – 2001. – № 2.
26. Военные корабли СССР и России 1945–1995 гг. – Якутск, 1994.
27. Доклад Белунны. – 1994. – № 1.
28. Атомная подводная эпопея. – М., 1994.
29. Морской сборник. – 1995. – № 1; 1994. – № 4.
30. Атомная энергия. – М. 1994. – Т. 76. – Вып. 1; 1993. – Т. 74. – Вып. 4; 1992. – Т. 73. – Вып. 1.
31. Отечественное военное кораблестроение в третьем столетии своей истории. – СПб., 1995.
32. Судостроение. – 1990. – № 9; 1991. – № 1.
33. Судостроение. – 1992. – № 11–12.
34. Copyright Bellona. Обновленная СД-версия. 1997–09–28.
35. <http://nuketesting.enzizoweb.ozq/hew/>
36. <http://qawain.membzone.com/hew/>
37. <http://www-ing.rau.as.za/>

#### *К главе 4*

1. Феоктистов Л. Оружие, которое себя исчерпало. – Москва, 1999.



2. Пшакин Г.М., Гераскин Н.И., Муругов В.М. Ядерное нераспространение. – М., 2006.
3. Колдобский А.Б., Насонов В.Н. Вокруг атомной энергии: правда и вымысел. – М., 2002.
4. Критические параметры делящихся материалов и ядерная безопасность. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

### *К главе 5*

1. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Томской области в 2003 году / Государственный комитет экологии и природных ресурсов Томской области. – Томск, 2004.
2. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Колчин А.Е. Нужна ли АЭС Томскому региону? (Экология, экономика, безопасность). – Томск, 1995.
3. Концепция теплоснабжения Томска и Томска-7. Т. 1. Томсктеплоэлектропроект, 1991.
4. Холл Э. Дж. Радиация и жизнь: пер. с англ. – М.: Медицина, 1989.
5. Маршалл У. Мой радиоактивный сад. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Бабаев С.Н. и др. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Самойлов О.Б. и др. Что такое АСТ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Радиация. Дозы, эффекты, риск.: пер. с англ. – М.: Мир, 1973.
9. Мещеряков В.Н., Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерная энергетика в системе энергообеспечения города Томска / Ядерная энергетика. – 2000. – № 1.
10. Левченко Н. Есть ли будущее у ядерной энергетики? // Бюллетень ЦОИ по АЭ. – 1996. – № 10–11.
11. Бюллетень МАГАТЭ. – 1997. – Т. 39. – № 1–2; 1999. – Т 41. – № 2.
12. Постановление Правительства Российской Федерации № 815 от 20 июня 1998 г.
13. Материалы научно-практической конференции: Перспективы и проблемы развития атомной энергетики России и ряда государств бывшего СССР на пороге XXI века. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 1999.
14. Реакторная установка АСТ-500. Безопасность и экологичность ОКБМ. – Нижний Новгород, 1991.
15. Адамов Е.О. Белая книга ядерной энергетики. – М.: Изд-во ГУП НИКИ-ЭТ, 1998.
16. Сиборг Г. Человек и атом. – М.: Мир, 1973.
17. Феоктистов Л. Оружие, которое себя исчерпало. – М., 1999.
18. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 2000. – № 2.
19. АНРИ. – 2000. – № 1.
20. Состояние окружающей среды Томской области. Экологический мониторинг. – Томск, 2003.
21. Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – № 3, 4.

22. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Аргументы и проблемы атомной энергетики. Безопасность, экономика и экология ядерных технологий: учебное пособие. – Томск: Изд-во ООО «Компания Янсон», 2001. – 80 с.
23. Колдобский А.Б., Насонов В.Н. Вокруг атомной энергии: правда и вымыслы. – М., 2002.
24. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М.: Мир, 1988.
25. Медицинские последствия аварии на ЧАЭС: прогноз и фактические данные национального регистра / Медицинский радиологический научный центр РАМН. – Обнинск: ООО «Комтехпринт», 2001.
26. Эргашев Д.Э. Метод определения естественного и техногенного урана в объектах окружающей среды: автореф. – Томск, 2004.
27. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Что необходимо знать каждому человеку о радиации. – Томск: Изд-во «Красное знамя», 1993.
28. Бойко В.И., Евстигнеев В.В., Кошелев Ф.П. Жителям Алтайского края о ядерных взрывах и радиации. Кн. 1. – Барнаул: Изд-во АГПУ, 1994.
29. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Нужна ли АЭС Томскому региону? (Экология, экономика, безопасность). – Томск: Изд-во «Орбита», 1995.
30. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Роль ядерной энергетики в экономике России. – Томск: Изд-во «Орбита», 1999.
31. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Аргументы и проблемы атомной энергетики. Безопасность, экономика и экология ядерных технологий. – Томск: Изд-во ООО «Компания Янсон», 2001.
32. Мещеряков В.Н., Кошелев Ф.П., Демянюк Д.Г. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
33. Шидловский В.В., Мещеряков В.Н., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Демянюк Д.Г. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения. Ч. II. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
34. Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Топливный цикл. Проблемы решения: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
35. Сибирский химический комбинат. – Томск: Центр информации СХК, 2005.
36. Энергия. Экономика, техника, экология. – 2006. – Вып. 1.
37. Уран-2005: Ресурсы. Производство. Потребности / Доклад МАГАТЭ 2005 г.
38. Кидд С., Продолжится ли рост спроса на ядерное топливо? / Атомная техника за рубежом. – 2006. – № 1.
39. Кудинов В.В. Конкурентоспособность различных электрогенерирующих технологий / Атомная техника за рубежом. – 2005. – № 11.
40. Воробьев Е.А. Состояние минерально-сырьевой базы и добычи урана в РФ // Материалы II Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
41. Воробьев Е.А. и др. Концепция развития геолого-разведочных работ урана на территории РФ на период 2000–2010 годы.
42. IX Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности России». – Казахстан, 2006.

43. Ядерная энергетика России – стратегический выбор / Бюллетень по АЭ. – 2007. – № 3.
44. Бюллетень по АЭ.– 2007. – № 4.
45. Атомная техника за рубежом. – 2005. – № 1.
46. Общая характеристика ТЭК России / Энергия. – 2006. – № 5.
47. Nucl.Net: News. – 1994. – № 418.

### *К главе 9*

1. Ионизирующие излучения в медицине: учебное пособие // В.А. Костылев, А.П. Черняев, Н.А. Антипина; Изд-во МГУ имени М.В. Ломоносова.
2. Куренков Н.В. Применение радионуклидов для диагностики и терапии в Австралии / Атомная техника за рубежом. – 2002. – № 7. – С. 3–7.
3. Green J. Future supply of medical radioisotopes in Australia: PhD Thesis. – Australia: University of Wollongong, 1997.
4. Куренков Н.В., Чувилин Д.Ю. Производство  $^{99}\text{Mo}$  для использования в ядерной медицине в генераторах  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . // Атомная техника за рубежом. – 1999. – № 5. – С. 8–14.
5. Куренков Н.В. Применение радионуклидов для диагностики и терапии в США. – Атомная техника за рубежом. – 2001. – № 11. – С. 11–15.
6. Яблоков Б.Н. Протоны против рака. – Атомная техника за рубежом. 2002. – № 2. – С. 20–22.
7. Опыт работы онкологических учреждений // Сибирский онкологический журнал. – 2003. – № 1. – С. 30–33.
8. Мусабаева Л.И. Быстрые нейтроны в онкологии. – Томск: РНЦ СО РАМН, 2000.
9. Манохин В.Н., Матусевич Е.Г. Физико-технические основы ядерной энергетики. – Обнинск, 1993.
10. Жербин Е. Мирные профессии нейтронов. – М., 1980.
11. Радиоактивные изотопы в химических исследованиях. – Л.;М., 1965.
12. Рогинский С.З., Теоретические основы изотопных методов изучения химических реакций. – М., 1956.
13. Ядерно-физические методы анализа веществ // Всесоюзная научно-техническая конференция «XX лет производства и применения изотопов и источников ядерных излучений в народном хозяйстве СССР», Минск. – М., 1968–1971.
14. Камен М. Радиоактивные индикаторы в биологии: пер. с англ. – М., 1948.
15. Хевеши Г. Радиоактивные индикаторы, их применение в биохимии, нормальной физиологии и патологической физиологии человека и животных: пер. с англ. – М., 1950.
16. Бюллетень МАГАТЭ. –2001. – № 43/2.
17. Сиборг Г. Человек и атом. – М.: Изд-во «Мир», 1973.
18. Меррей Р. Атомная энергетика. – М.: Энергия, 1979.
19. Мухин К. Занимательная ядерная физика. – Энергоатомиздат, 1985.
20. Medical and Industrial Radioisotopes. ANSTO Brochure Private Mail Bag 1, Menai, NSW 2234. – Australia, 1999.

21. Buckland R. The Nation's Nuclear Medicine Supplier. // ATSE Focus. – 15 January. – 2000. – № 100.
22. Smith S.V., Di Bartolo N.M. New process for the Separation of  $^{111}\text{In}$  from  $^{112}\text{Cd}$ . // Final Programme and Abstracts. 4<sup>th</sup> International Conference on Isotopes, Cape Town, South Africa, 10–14 March, 2002. – p. 30.
23. Izard M.E. Smith S.V. Automation of  $^{64}\text{Cu}$  Production and  $^{68}\text{Zn}$  Recycling. – Ibid. – P. 42.
24. Expert Panel: Forecast Future Demand for Medical Isotopes. Report. – March, 1999.
25. Nuclear Energy Research Advisory Committee(NERAC). Subcommittee for Isotope Research & Production Planning. Final Report. – April 2000.
26. Availability of Radioisotopes Produced in North America. // J.Nucl.Med. – 2000. – V. 41. – № 9. – P. 13.
27. Wagner H.M. Clinical Pet: Role in Diagnosis and Management // Ibid. No 8. P. 36.
28. Reisselman. Protons against Cancer // FermiNews. – 2001. – V. 24. – No 1. – P. 10–13.
29. CERN Courier. – 2001. – V. 41. – No 1. – P. 5.
30. www.minatom.ru.

### ***К главам 6, 7, 8, 10, 11***

1. Пшакин Г.М., Гераскин Н.И., Муругов В.М. и др. Ядерное нераспространение. – М., 2006.
2. Колбовский А.Б., Насонов В.П. Вокруг атомной энергии: правда и вымыслы. – М., 2002.
3. Ядерное нераспространение. Т. 2. / ПИР-Центр политических исследований. – М., 2002.
4. Ершов В.Н. / Доклад на VI Международной конференции «Радиационная безопасность: транспортирование радиоактивных материалов», атомтранс. – С-Петербург, 2003.
5. Закон Российской Федерации «О борьбе с терроризмом», ст. 3.
6. Бухарин О.А. Проблемы ядерного терроризма. Ядерный контроль. – 1996. – № 15.
7. Поттер У.К. / Многоликий ядерный терроризм. Ядерный контроль № 1 (67) Т9 2005.
8. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2004 году». – М., 2005.
9. Энергия: экономика, техника, экология. – 2006. – № 2, 3.
10. Колдобский А.Б. Ядерный терроризм // Бюллетень по атомной энергии. – 2002. – № 3.
11. Колдобский А.Б. Радиационный терроризм // Бюллетень по атомной энергии. – 2002. – № 4.
12. Ильин Л., Грачев М. и др. Медико-гигиенические аспекты противодействия ядерному и радиологическому терроризму // Бюллетень по атомной энергии. – 2002. – № 12.

13. Суслин В. Проблемы радиационного терроризма / АНРИ. – 2006. – № 1.
14. Агапов А. Радиологический терроризм: меры противодействия и минимизации последствий / Бюллетень по атомной энергии. – 2003. – № 2.
15. Костарев А. Технические проблемы предотвращения радиационного терроризма АНРИ.– 2005. – № 1.
16. Большов Л., Арутюнян Р. и др. Социальные аспекты проблемы радиационного терроризма // Бюллетень по атомной энергии. – 2003. – № 9.
17. Боголюбов С.А. Защита экологических прав. – М., 1996.
18. Давыдова С.Л. Особые случаи глобальной экологии. Энергия: экономика, техника, экология. – 2006. – № 2.
19. Кауров Г. Экология – это опасно // Бюллетень по атомной энергии. – 2001. – № 7.
20. Давайте разберемся // Российская газета. 05.04.2001.
21. Никифоров Н. Информационно-технические проблемы противодействия терроризму / Бюллетень по атомной энергии. – 2006. – № 5.
22. Мелихова Е. Что оказывает влияние на формирование общественного мнения? / Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – № 4.
23. Кауров Г. Правда и вымысел о Калининской АЭС / Бюллетень по атомной энергии. – 2003. – № 9.
24. Кауров Г. Чернобыльская катастрофа и экологический терроризм / Бюллетень по атомной энергии. – 2003. – № 9.
25. Кауров Г. Распространение слухов об аварии на Балаковской АЭС – это акт экологического терроризма / Бюллетень по атомной энергии. – 2005. – № 1.
26. Иванов В. Защита топливного цикла ядерных реакторов от несанкционированного вмешательства / Бюллетень по атомной энергии. – 2006. – № 8.
27. Материалы VI Международной конференции по ядерной критической безопасности. Версаль. Сентябрь 1999.
28. Белоус В. Ядерный терроризм в современном мире / Бюллетень по атомной энергии. – 2000. – № 6.
29. Ядерная безопасность. – 2000. – № 34, 35.
30. Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Ядерные технологии. – М., 2001.
31. Петрищев В.Е. Заметки о терроризме. – М.: Из-во «Эдиториал» УРСС, 2001.
32. О некоторых публикациях газеты «Зеленый мир» / Бюллетень по атомной энергии. – 2001. – № 8.
33. Соболев В. Чем ответим терроризму? / Индекс безопасности № 1 (81). Т. 13. Москва, Женева, Монтерей, 2007–09–25.
34. Степанова Е. Исламистский терроризм сегодняшнего дня: глобальный и локально-региональный уровни. Индекс безопасности № 1 (81). Т. 13. Москва, Женева, Монтерей, 2007–09–25.
35. Работнов. Прощание с менталитетом Галиафа. – М.: «Знамя». – 2006. – № 4.
36. Ядерный контроль. – 2005. – № 4 (70). – Т. 9.
37. Индекс безопасности. – 2007. – № 2 (82). – Т. 13.
38. Костадинов В. Оценка уязвимости как отсутствующая часть системы регулирования готовности критической ядерной инфраструктуры к чрезвычайным происшествиям / Атомная техника за рубежом. – 2007. – № 5.

## *К главе 12*

1. Арбатова А.Г. Ядерные вооружения и безопасность России. – М.: ИМЭМО РАН, 2001.
2. Афанасьев Л.А. Европейская интеграция. – М.: Наука, 1992.
3. Ахматзян И.А. Нераспространение ядерного оружия: сборник документов. – М.: Международные отношения, 1993.
4. Гарднер Гари Т. Ядерное нераспространение / А. Премьер. – Лондон, 1994.
5. ЕС – Европейский союз, существующий с 1 ноября 1993 г. – Новое название Европейского сообщества. ЕС сегодня. – КЕС 1995.
6. Ефрешев А.Е. Ядерное разоружение. – М.: Международные отношения, 1990.
7. Иойрыш А.И. Атомная энергия и международно-правовая охрана окружающей среды. – М.: Наука, 1991.
8. Иойрыш А.И. Международное атомное право. – М., 1987.
9. Иойрыш А.И. Правовые проблемы мирного использования атомной энергии. – М.: Наука, 1979.
10. Кириченко Э.В. Разоружение и безопасность / ИМЭМО РАН. – М.: Наука, 1997.
11. Кириченко Э.В. Регулирование ядерного экспорта. В кн.: Разоружение и безопасность. 1997–1998 / ИМЭМО РАН. – М.: Наука, 1997.
12. Кириченко Э.В. Регулирование ядерного экспорта. – М., 2000.
13. Ларин В. МАГАТЭ: история создания. – М.: Юриздат, 1958.
14. Малинин С.А., Онушкин В.Г. Международное сотрудничество в области использования атомной энергии. – М.: Знание, 1981.
15. Мишарин В.Н. Мирное использование атомной энергии. – М.: Международные отношения, 1986.
16. Охрана окружающей среды. Международные правовые акты: справочник. Санкт-Петербург, 1994.
17. Осипов Г.А. Международный режим нераспространения ядерного оружия. – М.: Наука, 1990.
18. Паламарчук П.П. Ядерный экспорт: международно-правовое регулирование. – М.: Наука, 1998.
19. Тимербаев Р.М. Контроль за ограничением вооружений и разоружением. – М.: Международные отношения, 1983.
20. Тимербаев Р.М. Мирный атом на международной арене. – М.: Международные отношения, 1969.
21. Тимербаев Р.М. Россия и ядерное распространение (1945–1968). – М.: Наука, 1999.
22. Тимербаев Р.М. Группа ядерных поставщиков: история создания (1974–1978). – М.: Библиотека ПИР-Центра, 2000.
23. Ядерное нераспространение: учебное пособие для студентов вузов / И.А. Ахматзян и др. – М.: ПИР-Центр, 2000.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ.....	6
2. ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ.....	15
2.1. История создания ядерного оружия в США и СССР .....	15
2.2. Типы ядерного оружия.....	39
2.3. Ядерно-энергетические транспортные установки .....	54
3. ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	99
3.1. Расщепляющиеся материалы.....	102
3.2. Критические массы.....	107
3.3. Облученное ядерное топливо .....	110
4. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО .....	113
4.1. Энергетика на органическом топливе и перспективы ее развития .....	116
4.2. Возобновляемые источники энергии и их ресурсы .....	121
4.3. Ядерная энергетика .....	128
4.3.1. Ядерная энергетика в мире: состояние и перспективы (безопасность, экономика, экология) .....	128
4.3.2. Ресурсы ядерной энергетики [37–47] .....	151
5. ТЕРРОРИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ .....	162
6. ЯДЕРНЫЙ ТЕРРОРИЗМ [1–7, 10, 26–28, 30].....	186
6.1. Объекты ядерного терроризма .....	191
6.2. Основные типы ядерного терроризма .....	194
6.2.1. Хищение, изготовление и подрыв ядерного взрывного устройства .....	195
6.2.2. Возможность хищения ядерных материалов (ЯМ) на основных стадиях ЯТЦ .....	199
6.2.3. Диверсии на АЭС или угроза их осуществления (ядерный саботаж).....	213
6.2.4. Методы оценки уязвимости ЯЭУ в связи с действиями террористов [38] .....	216
6.2.5. Безопасность перевозок радиоактивных материалов (РМ).....	219

7. ЗАЩИТА ОТ ЯДЕРНОГО ТЕРРОРИЗМА .....	222
7.1. Международное сотрудничество по предотвращению ядерного терроризма [7].....	223
7.2. Предохранение от случайных или несанкционированных действий с ядерным оружием в России .....	231
7.3. Комплексный подход к защите ЯТЦ .....	232
7.3.1. Создание единой международной системы учета и контроля ядерных материалов .....	232
7.3.2. Организация международной системы лизинга ядерных топливных материалов .....	233
7.3.3. Организация международной системы обращения с облученным ядерным топливом.....	234
7.3.4. Организация системы аренды АЭС .....	235
7.3.5. Создание новой ядерной энергетики, имеющей высокую степень технологической защиты ядерного топлива .....	236
7.3.6. Создание Международного центра по обогащению урана.....	236
8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ НА БЛАГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА .....	239
8.1. Промышленность.....	239
8.2. Медицина.....	254
8.2.1. Лучевая терапия .....	255
8.2.2. Радионуклидная диагностика .....	272
8.3. Сельское хозяйство .....	284
8.4. Активационный анализ .....	291
8.4.1. Криминалистика.....	292
8.4.2. Изотопная геохронология и радиоуглеродный метод .....	296
8.4.3. Нейтронно-активационный анализ человека.....	301
8.4.4. Радиоактивное золото.....	304
8.5. Ядерные взрывы в мирных целях .....	305
9. РАДИАЦИОННЫЙ ТЕРРОРИЗМ [1, 2, 11–16].....	323
9.1. Радиация и ее воздействие на живой организм .....	324
9.2. Основные проблемы радиационного терроризма .....	331
9.3. Наиболее распространенные изотопные источники излучения .....	333
9.4. Радиологические критерии использования радиоактивных материалов в целях терроризма .....	344
9.5. Международная шкала ядерных событий.....	352
9.6. Чернобыльская авария. Как и почему это произошло? .....	354



9.7. Первоочередные задачи защиты общества от угроз и последствий радиационного терроризма. Социальные аспекты [16].....	363
10. ИНФОРМАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕРРОРИЗМ [17–25, 31]...	367
10.1. Экологический терроризм .....	367
10.2. О некоторых публикациях газеты «Зелёный мир» .....	375
11. МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВЫЕ РЕЖИМЫ И КОНТРОЛЬ ЗА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕМ ОРУЖИЯ МАССОВОГО УНИЧТОЖЕНИЯ .....	394
11.1. Историко-правовые аспекты нераспространения ядерного оружия.....	394
11.2. Международно-правовые акты по решению проблем нераспространения ядерного оружия. Международные организации, осуществляющие контроль за соблюдением режима нераспространения.....	402
11.3. Международный режим нераспространения ядерного оружия: политические аспекты функционирования.....	410
11.4. Международная система экспортного контроля в целях ядерного нераспространения .....	419
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	439

Учебное издание

БОЙКО Владимир Ильич  
КОШЕЛЕВ Феликс Петрович  
СЕЛИВАНИКОВА Ольга Валерьевна  
ДЕМЯНЮК Дмитрий Георгиевич

## ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПРОБЛЕМЫ ТЕРРОРИЗМА. НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Научный редактор  
кандидат технических наук,  
доцент

*Ф.П. Кошелев*

Редактор

*О.Н. Свинцова*

Верстка

*К.С. Чечельницкая*

Дизайн обложки


*О.Ю. Аршинова  
О.А. Дмитриев*

Подписано к печати 09.12.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 26,17. Уч.-изд.л. 23,67.  
Заказ 902. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.