

# Обращение с отходами

## Ядерная энергия, человек и окружающая среда

А. Хаген\*

Несмотря на то, что в настоящее время большое внимание уделяется сохранению энергии и ее более эффективному использованию, потребности в энергии во всем мире продолжают возрастать. Выбор энергетических систем является одним из вопросов национальной политики, связанных иногда с решением конфликтных проблем и сбалансированием экономических, технических, социальных, организационных, а также экологических факторов. Концепция, когда в одних большее значение уделяется развитию страны и росту экономики, а в других — поддержанию и сохранению чистоты окружающей среды, часто вступают в конфликт. Оценка общественного риска от той или иной энергетической системы имеет такое же большое значение для принятия решения, как и анализы экспертов, хотя термин „общественность” относится ко многим различным группам, которые могут понимать риск какой-то частной ситуации очень различно. Защита окружающей среды является задачей, которую необходимо рассматривать в совокупности с другими задачами. Значимость любой из задач будет изменяться в соответствии с национальной точкой зрения, потребностями и задачами государства.

По-видимому, все виды человеческой деятельности, включая использование энергии, оказывают влияние на окружающую среду. Энергетические системы не ставят каких-то уникальных проблем, отличающихся от проблем других источников риска. Все методы получения энергии в развитых в промышленном отношении государствах связаны с определенными затратами на охрану окружающей среды, здоровья людей и социальные нужды.

Международное агентство по атомной энергии в сотрудничестве со Всемирной организацией здравоохранения в ближайшее время должно опубликовать книгу\*\*, которая будет представлять современный обзор по вопросам окружающей среды, связанным с атомной энергией. В брошюре предполагается рассмотреть следующие проблемы: ядерный топливный цикл, охрана здоровья и радиобиологическое воздействие радиации, критерии радиационной защиты, ядерная безопасность, захоронение отходов.

Воздействие атомных электростанций и установок, связанных с топливным циклом, на окружающую среду не слишком отличается от воздействия каких-либо других крупномасштабных промышленных объектов. Однако радиоактивные матери-

алы, получаемые на различных этапах топливного цикла, и особенно радиоактивные материалы, вырабатываемые в ядерных реакторах, должны строго контролироваться. При оценке воздействия любого вида промышленной деятельности на окружающую среду и здоровье населения должны учитываться многие факторы. К ним относятся: ожидаемый риск для работающих на установках и для населения, находящегося за пределами установок; вид и степень загрязнения окружающей среды; вид, количество и токсичность отходов, которые необходимо переработать и изолировать от окружающей среды; рациональное использование природных ресурсов, включая земли и воды, и такие второстепенные потребности, как транспортные; потенциальная вероятность аварий с серьезными последствиями.

Очень трудно сравнивать различные источники энергии, но еще более трудной является задача дать количественную оценку некоторым факторам, необходимым для выработки твердой позиции при принятии решений. Однако подобные сравнения должны проводиться. При выборе энергетической системы необходимо оценить пользу от тех или иных источников энергии и риск, с которым предстоит столкнуться обществу.

### Философия защиты окружающей среды

Можно выделить три аспекта философии защиты окружающей среды: первый рассматривает вопросы *сохранения ресурсов*, второй посвящен вопросам поддержания *экологического равновесия*, и третий занимается вопросами *охраны здоровья человека*. Эти три аспекта могут найти практическое выражение при разработке стандартов и критериев. Однако часто невозможно бывает отделить один аспект от другого и принять удовлетворительное решение при постановке таких противоположных задач, как соблюдение требований качества и защиты окружающей среды.

Сохранение природных ресурсов не только подразумевает создание парков и отдельных заповедных зон, управление и эксплуатацию таких природных ресурсов, как лес, полезные ископаемые, источники энергии, но также правильное использование земель, водных ресурсов и воздушной среды.

\* Г-жа Хаген является сотрудником секции МАГАТЭ по обращению с отходами, Отдел ядерного топливного цикла.

\*\* "Nuclear power, man, and the environment" (готовится к изданию).

Поддержание экологического равновесия, как один из аспектов философии окружающей среды, ставит задачей рассмотрение биологических объектов или других живых организмов окружающей среды. Все виды человеческой деятельности ведут к нарушению или изменению хрупкой биосферы, в которой живет человек. Вопрос заключается в том, насколько большие изменения или нарушения должны быть допустимы.

Концепция защиты здоровья людей не является новой. Разработка стандартов и критериев радиационной защиты началась с самых первых дней существования ядерной энергетической промышленности. Задачи в этой области касаются определения допустимого риска для общества. Однако, надо отметить, что в области радиационной защиты существуют общепринятые международные стандарты и критерии. Основу всех форм радиационной защиты составляет ограничение радиационных доз; для этого использование каждого источника излучения должно быть оправдано приносимой им пользой или иметь какие-то другие важные цели; любое вынужденное облучение должно иметь разумно достижимый низкий уровень, и дозы облучения отдельных людей не должны превышать определенных пределов. В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), предельной дозой для работающих на установках является эффективная доза, не превышающая 50 мЗв в год на каждого работающего. Соблюдение этой нормы и указанных выше требований обычно приводит к тому, что средняя годовая доза значительно ниже этой нормы, часто примерно в 10 раз. В предельную дозу не входит облучение от естественных источников и облучение, получаемое во время лечения.

Соответствующие рекомендации для населения заключаются в том, что годовая доза не должна превышать 5 мЗв, причем в эту дозу не включается облучение от естественных источников и облучение в медицинских целях. Кроме того, в тех случаях, когда отдельные представители населения подвергаются длительному облучению, средняя годовая доза облучения не должна превышать 1 мЗв. Соблюдение этих норм предполагает, что средние дозы будут намного меньше 0,5 мЗв в год.

Различные виды норм разрабатываются национальными органами на основе системы ограничения доз, рекомендованной МКРЗ. Соблюдение таких утвержденных норм приводит к тому, что действительные дозы облучения намного ниже значений, приведенных в данном тексте. Сточные воды ядерных установок контролируются с целью выяснения, не превышаются ли утвержденные нормы сброса, а также, чтобы обнаружить и определить незапланированные выбросы. Вблизи ядерных установок обеспечивается система контроля за окружающей

средой для оценки уровня облучения и выявления долгосрочных тенденций последующего воздействия.

### Вопросы охраны окружающей среды в глобальном масштабе

После проведения консультаций, оценки и дискуссий органы, определяющие ядерную политику, должны установить приемлемые уровни риска для отдельных видов радиоактивности. Надо отметить, что индивидуальные дозы облучения можно было бы рассчитать на довольно длительный период. Гораздо труднее рассчитать дозу облучения всего населения из-за неопределенности расчетов численности населения на будущее, ибо это дает очень большие дозы, так как интегрируются очень маленькие дозы на очень длительные периоды времени. Значение этого можно увидеть только путем сравнения с контрольным облучением за тот же период времени, таким, например, как облучение от естественной фоновой радиации. Это неизбежно приводит к неразрешимому вопросу, на который, по всей вероятности, и невозможно дать ответ: какую дозу считать приемлемой для будущего поколения? Ответы могут быть даны в рамках современных норм (например, 0,05 мЗв/поколение); на определенный процент выше фоновой радиации; на уровень, который, по всей вероятности, приведет к ненаблюдаемым биологическим воздействиям (т.е. больше, чем 5 мЗв); или даже на уровни, которые, как в настоящее время известно, ведут к длительным хроническим заболеваниям.

При нормальной эксплуатации основное влияние атомных энергетических установок на окружающую среду связано с радиоактивными отходами, получаемыми в ядерном топливном цикле. В основном приняты три основных способа обращения с радиоактивными отходами. Отходы, теряющие свою радиоактивность за сравнительно короткий период времени, часто хранятся (выдерживаются) до тех пор, пока радиоактивность не достигнет „безвредного” уровня. Отходы, содержащие значительные количества долгоживущих радионуклидов, концентрируются и заключаются в контейнеры. Газообразные и жидкие отходы, радиоактивность которых ниже разрешенных пределов, основанных на критериях радиологической защиты, выбрасываются непосредственно в окружающую среду (атмосферу, водоемы), где они быстро рассеиваются и разбавляются (см. в рамке). Эти категории не должны рассматриваться как взаимно исключающие, так как в отношении некоторых отходов, как, например, низкоактивных отходов, захоронение которых осуществляется в глубокие впадины морей, используются оба принципа: заключение в контейнеры и дисперсия. Материал помещается в контейнеры, чтобы обеспечить безопасную доставку на дно океана, причем целостность контейнера на месте захоронения не является обязательным условием, и допускается, что материал будет диспергировать.

Для более реалистичной оценки опасности любой установки по изоляции отходов необходимо

Обращение с радиоактивными отходами				
Источник отходов	Тип радиоактивности отходов	Форма отходов	Типичные изотопы	Обработка и захоронение
Добыча и переработка урановых руд	Естественная активность	Твердые	Уран-238 Радий-226 Торий-230 Радий-226 Радон-222	Заключение в контейнеры и контролируемое открытое хранение Обработка и разбавление Вентиляция и рассеяние
		Жидкие Газообразные		
Заводы по изготовлению уранового топлива	Естественная активность	Твердые	Уран-235 и Уран-238	Деактивация или заключение в контейнеры Концентрация и заключение в контейнеры Фильтрация и рассеяние
		Жидкие Газообразные		
Эксплуатация реакторов	Активность продуктов активации и продуктов деления	Твердые	Кобальт-58 и Кобальт-60 Железо-59, Марганец-59 Цезий-144, Цезий-137 Тритий, Стронций-90 Аргон-41, Сера-33 Йод-131, Ксенон-133	Концентрация и заключение в контейнеры Обработка и разбавление
		Жидкие Газообразные		
Заводы по переработке топлива	Активность продуктов деления и трансурановых элементов	Твердые	Америций-241, Стронций-90 Цезий-137, Америций-241 Плутоний, Цезий-144 Тритий, Цирконий-99 Йод-131 и Йод-129 Криптон-85, Тритий	Концентрация и заключение в контейнеры  Разбавление и рассеяние или заключение в контейнеры
		Жидкие Газообразные		
Использование изотопов в промышленности	Активность продуктов активации и трансурановых элементов	Твердые	Кобальт-60, Стронций-90 Цезий-137, Плутоний Тритий, Углерод-14 Фосфор-32, Цезий-144 Йод-131	Концентрация и заключение в контейнеры Обработка и растворение  Разбавление и рассеяние или заключение в контейнеры
		Жидкие Газообразные		

Из публикации „Атомная энергия и окружающая среда“, МАГАТЭ (1977 г.)

принимать во внимание эффективность многих барьеров, отделяющих отходы от биосферы. Такие физические явления, как нерастворимость, ионно-обменные свойства, способность к адсорбции и медленной миграции, могут уменьшить рассчитанную опасность от таких токсичных радионуклидов, как плутоний. Вероятность любого проникновения радиоактивных веществ от точки захоронения в биосферу будет зависеть от соблюдения критериев и стандартов.

Что касается обращения с высокоактивными отходами, то долговременным барьером является отверждение отходов в боросиликатном стекле; разработана технология их хранения. Длительная изоляция может быть достигнута путем захоронения в геологические формации, если будет выбрана удобная площадка с низкой вероятностью, что эрозия, вулканическая деятельность, удар метеорита и другие природные явления могут повредить место хранения. Возможность случайного вторжения человека также может быть ограничена. Наиболее важным механизмом потенциального переноса радионуклидов из хранилища в геологической формации в биосферу является перенос по водоносным слоям. Поэтому при выборе площадки должна приниматься

во внимание гидрология местности. Способность смоделировать систему и определить, какие параметры и допущения будут чувствительными, включая расчеты дозы облучения для человека, должна помочь в определении пригодности площадки и в определении периода, на который требуется изоляция.

Основными опасными радионуклидами, содержащимися в газообразных выбросах, которые в течение длительного времени влияют на облучение населения, являются  $^{14}\text{C}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{129}\text{I}$ . Они могут рассеиваться в атмосфере вокруг земного шара, и осуществление контроля за их движением потребует разработки международного соглашения.

При добыче и переработке урана радий может быть более опасен, с точки зрения облучения населения, чем плутоний. Хвосты, получаемые при переработке урана, также опасны с точки зрения облучения населения регионов, как и высокоактивные отходы, в связи с их сравнительной доступностью, в то время как высокоактивные отходы и актиниды тщательно изолируются.

Возможность захоронения радиоактивных отходов низкой активности на дне морей привлекает все более широкое внимание. В настоящее время

международная конвенция запрещает захоронение высокоактивных отходов на дне океана, и только несколько стран осуществляют захоронение помещенных в контейнеры отходов низкой активности в очень глубокие подводные впадины океанов (на глубину, превышающую 4000 м). Подобно атмосфере, океаны имеют глобальное значение, и поэтому сбрасывание в них отходов, в отличие от захоронений в геологические формации, может оказать воздействие не только на население страны, проводящей захоронение, но иметь потенциальную опасность для большей части населения всего земного шара. Интересы защиты окружающей среды, предотвращения радиоактивного загрязнения и стремление не наносить ущерб другим обитателям внешней среды требуют разработки международного соглашения об использовании атмосферы или океана в качестве среды для захоронения отходов.

Принятие решений на правительственном уровне — сложная задача, так как очень трудно дать ко-

личественную оценку политическим, социальным и этическим аспектам, которые должны быть сбалансированы с такими, более легко определяемыми в количественном отношении, аспектами, как, например, экономикой оптимального распределения ресурсов. Принятие решений часто осложняется неадекватностью имеющихся данных и разногласиями по поводу применения методик. Начиная с 1970 г., осведомленность населения о соглашениях в области защиты окружающей среды значительно возросла. Национальные законы, правила, стандарты, двусторонние, многосторонние и международные соглашения и конвенции получили широкое распространение. Оценочные системы, такие, например, как экономические и технические показатели, с одной стороны, и оценки риска и экологических последствий, с другой стороны, часто вступают в конфликт, и этот конфликт трудно решить даже на национальном уровне и, тем более, — в международных масштабах.