

- Привлечение к дискуссионной работе учителей, врачей, экологов, женщин, представителей научных, общественных и религиозных организаций.

- Постоянное и своевременное информирование населения о всех происшествиях на АЭС и радиационной обстановке в районах расположения станций.

- Проведение независимой экспертизы проектов с привлечением общественности.

- Разработка и осуществление экономических мер в районах расположения или строительства АЭС.

- Разъяснение роли ядерной технологии в жизни общества (применение радиоактивных изотопов, робототехника, вакуумная технология, радиационная терапия и диагностика и многое другое).

- Развитие международного сотрудничества в этой области, вовлечение экспертов различных стран в дискуссии с населением, проведение ежегодных совещаний представителей центров общественной информации различных стран для обмена опытом под эгидой МАГАТЭ.

Перспективы ядерной энергии в области медицины

Краткий обзор доклада комитета по науке Американской ассоциации врачей

Является ли производство электроэнергии на АЭС в США безопасным? Может ли взрыв ядерно-энергетического реактора вызвать крупномасштабное распространение радиоактивности, как это имело место во время аварии в Чернобыле в 1986 г.? Как работают энергетические реакторы и какие принципы лежат в основе обеспечения безопасности их эксплуатации? Какой должна быть роль врача применительно к ядерной энергии? Все эти вопросы рассматриваются в последнем отчете комитета по науке Американской ассоциации врачей (АМА). Данный доклад, подготовленный комитетом экспертов, был одобрен постоянным комитетом Американской ассоциации врачей. Все основные проблемы и заключения по ним, содержащиеся в докладе, являются предметом рассмотрения в данном обзоре.

АЭС Катамба, США



По мере роста производства энергии и снижения ее себестоимости потребление энергии в США с середины 80-х годов неуклонно возрастало.¹ Повышение объемов потребления энергии в США привело к росту темпов индустриализации, интенсификации транспортных перевозок, повышению производительности труда, уровня жизни и улучшению здоровья населения. В настоящее время производство электроэнергии удовлетворяет примерно одну треть потребления энергии в стране. В 1960 г. 0,1 % электроэнергии было произведено на трех действующих реакторах; в 1987 г. примерно 18 % электроэнергии было произведено на 106 действующих реакторах.²

Однако в 80-е годы ядерная энергия потеряла свою привлекательность. Частичное расплавление активной зоны на АЭС Три Майл Айленд в 1979 г. и пароводородный взрыв в Чернобыле в 1986 г. обострили беспокойство по поводу безопасности атомных электростанций, что соответственно привело к росту расходов на их строительство и эксплуатацию. Возникли длительные задержки в их лицензировании и пуске в эксплуатацию, многие из которых обусловлены федеральным законодательством. Заказы на некоторые атомные электростанции были аннулированы, а строительство других приостановлено. Новых заявок на строительство АЭС с 1977 г. не поступало, но в то же время референдумы по вопросу запрещения ядерной энергии в ряде штатов не дали нужных результатов.

Атомные электростанции

В ядерно-энергетических реакторах энергия, получаемая в результате деления ядер, используется для производства электроэнергии. В процессе реакции деления тяжелые атомные ядра, подобные ядрам урана-235, делятся на легкие ядра, выделяя при этом огромные количества энергии. Активная зона реактора состоит из тысяч длинных, узких тонкостенных трубок из сплава циркония, заполненных ядерными топливными таблетками, каждая высотой примерно $2 \frac{1}{2}$ см и диаметром $1 \frac{1}{3}$ см. Реакция деления инициируется в топливе в результате захвата нейтронов малой энергии. В процессе деления каждый атом выделяет два или три „быстрых“ нейтрона, которые, в случае замедления, могут вызвать самоподдерживающую цепную реакцию. Замедление нейтронов осуществляется посредством замедлителя, т.е. вещества с малым атомным числом, такого как вода или графит.

Большинство американских энергетических реакторов называется „легководными реакторами“ (LWR), поскольку они используют воду в качестве замедлителя нейтронов и охлаждения ядерного топлива. Существует два типа легководных реакторов: реакторы с кипящей водой (BWR) и реакторы с водой под давлением (PWR). Реакторы обоих типов размещаются в герметичном стальном баке со стенками толщиной 15–25 см, от 360 до 450 см в диаметре и высотой 12 м и более и предназначен-

ном для удержания случайных утечек радиоактивных веществ.

В типичном реакторе с водой под давлением нагретая в активной зоне вода поступает в парогенератор, в котором часть тепла передается воде с более низкой температурой и давлением, доведя ее до кипения и образования пара, который приводит в движение паровую турбину с электрогенератором (см. рисунки). Выходящий из турбины отработавший пар низкого давления конденсируется и возвращается в парогенератор питательным насосом. Вода, циркулирующая через систему охлаждения конденсатора в градирню или в соседние водные бассейны, не является радиоактивной. В реакторах с кипящей водой пар, образованный в активной зоне, проходит через паросепаратор в верхней части бака непосредственно на паровую турбину.

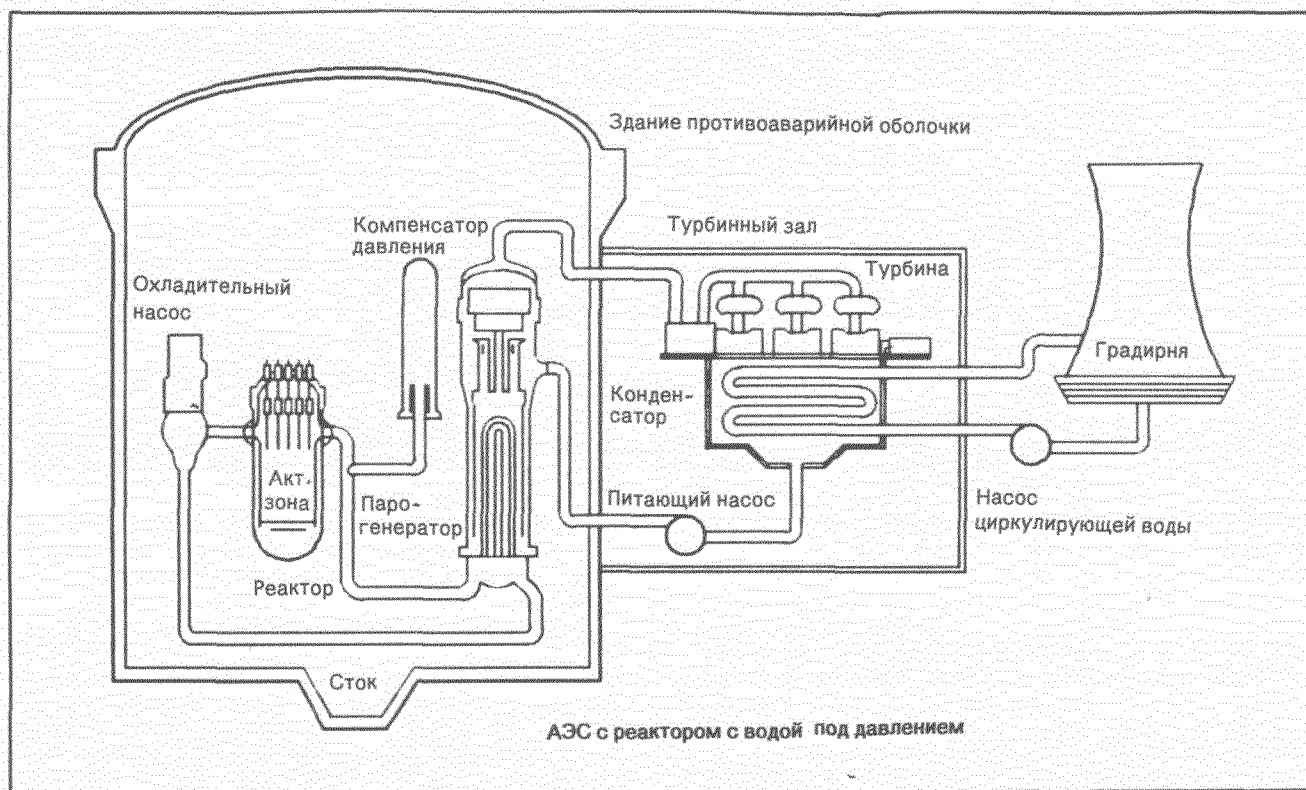
Продукты деления являются радиоактивными, поэтому ядерное топливо в процессе работы реактора тоже становится радиоактивным и нагревается до высокой температуры. Большая часть данной радиоактивности, равной в типичном реакторе примерно 111×10^{19} Бк, удерживается топливными таблетками, которые расплавились бы без охлаждения. Одной из основных проблем обеспечения эксплуатационной безопасности легководных реакторов является отвод радиоактивного тепла в различных гипотетических аварийных ситуациях.

Важной чертой безопасности всех легководных реакторов, построенных в западных странах, является отрицательный коэффициент пустотности, предусмотренный конструкцией этих реакторов. Это означает, что по мере повышения температуры в активной зоне в результате превращения воды в пар в ней образуются пустоты, что приводит к снижению энергии. Реактор в Чернобыле имел положительный коэффициент пустотности, что приводит к повышению мощности реактора в процессе превращения воды в пар в активной зоне. Эта неблагоприятная характеристика в сочетании с серьезными нарушениями эксплуатационного режима и отсутствием здания эффективной противоаварийной защиты привела к пароводородному взрыву и широкомасштабному распространению радиоактивности в Чернобыле.^{3, 4} Чернобыльская катастрофа не произошла бы в реакторе с отрицательным коэффициентом пустотности, что присуще всем атомным электростанциям в США. Таким образом, авария, подобная чернобыльской, не может иметь места на американской АЭС.

Ядерный топливный цикл

Производство ядерной энергии требует доступа к установкам по добыче и обогащению урановой руды, изготовлению топлива, используемого для производства электроэнергии, удалению отработавшего топлива, а также по транспортировке и обращению с радиоактивными материалами (см. рисунки)⁵. В конце срока службы активной зоны реактора, содержащей уран-235, примерно половина этого изотопа уходит на производство энергии, а небольшая часть урана-238 превращается в плутоний-239 и другие трансурановые элементы. В настоящее время отработавшее топливо хранится на АЭС в ожидании разрешения и окончания строительства установок для захоронения высокоактивных отходов.

* Данный доклад подготовлен комитетом по науке Американской ассоциации врачей. Он был опубликован в журнале Американской ассоциации врачей (JAMA) 17 ноября 1989 г., т. 262, № 19, авторское право 1989 г., Американская ассоциация врачей, 535 Dearborn St., Chicago, Illinois 60610, USA.



В США ежегодно осуществляется примерно 2,8 миллиона перевозок радиоактивных отходов, содержащих примерно $33,3 \times 10^{16}$ Бк, не считая перевозок отработавшего топлива.⁵ Основная ответственность за регламентацию перевозок лежит на министерстве транспорта США, а правила, регулирующие такие перевозки, зависят от типа и количества содержащихся радионуклидов и используемых средств транспортировки. В большинстве случаев такие перевозки имеют дело с относительно безвредными материалами, которые без особой опасности могут транспортироваться в фибровых картонных или деревянных ящиках или в стальных контейнерах (упаковка типа „А“). Материалы с промежуточным количеством радиоактивности перевозятся в контейнерах типа „В“, которые должны отвечать требованиям более строгих стандартов. Транспортировка высокоактивных отходов, отработавшего топлива, трансурановых отходов связана с большими объемами радиоактивности и требует обеспечения большей безопасности. Тяжелые контейнеры, предназначенные для транспортировки таких отходов, подвергаются жестким испытаниям, прежде чем они будут приняты ответственными федеральными органами.⁵

Технические вопросы обращения с радиоактивными отходами являются менее проблематичными по сравнению с социополитическими аспектами. Основная проблема здесь заключается в том, что жители в любой местности желают, чтобы отходы были отправлены куда-нибудь в другое место. Радиоактивные отходы классифицируются по их химическим и физическим свойствам, а также по их происхождению. В соответствии с законом отходы, полученные в процессе выполнения национальных оборонных программ, должны обрабатываться отдельно от отходов, производимых в результате применения ядерной энергии в мирных целях. На обращение с отходами также влияет период их полураспада и химический состав.

К низкоактивным отходам относятся отходы от лабораторных исследований, такие как загрязненная бумага и биологические материалы, а также отходы АЭС с низким уровнем радиоактивности, такие как ткани, пластик, металлический скрап и строительные материалы. На нескольких площадках скопились большие объемы материалов, принадлежащих двум последним категориям: урановые хвосты на урановых рудниках и отходы, получаемые в процессе очистки трубопроводов обогатительных фабрик по производству урана, радия и тория.

Уровни радиационного воздействия на население в результате проведения операций по захоронению низкоактивных отходов значительно ниже уровней естественного облучения и облучения от медицинских источников. Тем не менее в этой области возникли определенные проблемы. В 1980 и 1985 гг. конгресс США принял закон, в соответствии с которым каждый штат обязан к 1 января 1983 г. захоронить все низкоактивные отходы, полученные в пределах их границ, а также рекомендуется заключать региональные соглашения по выбору совместных площадок для захоронения отходов. В последнем отчете Американской ассоциации врачей (АМА) рассматривается проблема низкоактивных отходов (промежуточный отчет А, 1988 г.).

Высокоактивные отходы делятся на две категории: переработанное отработавшее реакторное топливо, а также жидкие и твердые отходы, полученные в результате переработки отработавшего топлива. Существуют также трансурановые отходы, полученные в процессе производства оружия. В течение последних 40 лет были исследованы различные методы изоляции высокоактивных отходов, в том числе отверждение на территории площадки, геологическая изоляция, захоронение на дне и под дном моря, закачка в глубокие трещины скальных пород.^{6,7} Геологическая изоляция в специально оборудованных полостях с многобарьерными подходами представляется наиболее подходящим

вариантом для захоронения отходов. Федеральный закон, принятый в 1988 г., предписывает проведение исследований в районе горы Юкка в Неваде как вероятного национального подземного хранилища высокоактивных отходов.

На оценку степени риска при захоронении радиоактивных отходов влияет целый ряд факторов. Во-первых, в истории не существует прецедента оценки риска в течение определенного длительного периода времени. Кроме того, разработка критериев установки для захоронения высокоактивных отходов осложняется медленной эволюцией понимания этической приемлемости предельных доз облучения, которым будут подвергнуты будущие поколения. Спроектированная надлежащим образом установка вполне могла бы отвечать предельным дозам, установленным Комиссией по ядерному регулированию США (NRC), т.е. от 0,10 до 0,25 мЗв на одного человека в год.

Для изучения поведения радиоактивных отходов, захороненных в глубоких геологических формациях, отечественные исследователи использовали природные модели.⁵ Изучение таких моделей на урановой шахте в Окло, Западная Африка, и в районе крупного месторождения тория и редкоземельных элементов в Минас-Жерайс, Бразилия, показывает, что природные месторождения полезных ископаемых могут оставаться стабильными в течение длительных геологических периодов.

Безаварийная эксплуатация атомных электростанций

В середине 1987 г. в число 106 действующих в США ядерных реакторов входили 68 реакторов с водой под давлением, 37 реакторов с кипящей водой и 1 высокотемпературный реактор с газовым охлаждением. Степень радиационного воздействия на персонал и население несколько выше на станциях устаревших конструкций и на реакторах с кипящей водой. Основными источниками облучения персонала являются продукты коррозии металлических поверхностей задвижек и труб, а также конструкций внутри активной зоны. Эти материалы, ставшие радиоактивными во время работы реактора, представляют собой обычные примеси в легирующих элементах стали, используемых для изготовления компонентов. Незначительные количества урана, остающиеся на поверхности топливных элементов в процессе их изготовления, а также уран и продукты деления, улетучивающиеся во время нормальной эксплуатации реактора вследствие мелких дефектов в оболочке топливного стержня, не представляют особой важности.

Персонал подвергается облучению главным образом в процессе крупных ремонтно-профилактических работ и перегрузки топлива, производимых во время останова реактора и включающих разборку и сборку задвижек; удаление и замену входных люков в первом контуре; испытания, дезактивацию, чистку и заглушку труб парогенераторов в реакторах с водой под давлением; осмотр и профилактический ремонт в реакторах с кипящей водой; удаление и замену крышки реакторного бака и внутреннего оборудования для перегрузки топлива. Облучение имеет также место во время дезактивации станции и захоронения радиоактивных отходов. Оптимальная оценка общего радиационного воздействия ядерно-энергетической промышлен-

ности на здоровье людей находит свое выражение в коллективной дозе облучения. В 1986 г. средняя коллективная доза облучения персонала составляла 4,8 человеко-зиверта (Зв) на одну станцию и 6,5 человеко-зивертов на станциях, использующих реакторы с кипящей водой. Средняя доза на одного рабочего равнялась 4 мЗв, причем у наиболее облученных рабочих эти дозы не превышали пределов, установленных Комиссией по ядерному регулированию. Дозиметрический контроль и наблюдение за облучением персонала, осуществляемые электроэнергетическими компаниями, подрядчиками, Институтом ядерно-энергетических операций (INPO) США и Комиссией по ядерному регулированию, гарантируют отсутствие превышения федеральных норм облучения.

В 1974 г. Комиссия по ядерному регулированию выдвинула требование, в соответствии с которым энергетические реакторы должны проектироваться или модифицироваться таким образом, чтобы получаемые от них дозы облучения проживающего вблизи АЭС населения были по возможности „максимально низкими“. Комиссия по ядерному регулированию установила верхние пределы доз облучения в 0,05 мЗв/г. для всего тела от взвешенных газообразных частиц; 0,15 мЗв/г. для щитовидной железы от выбросов радионуклидов и 0,03 мЗв/г. от жидких выбросов для любого человека в пределах площадки станции или вне ее. Указанные предельные дозы представляют собой лишь незначительные доли средней дозы облучения в 3 мЗв/г., получаемой человеком от естественной фоновой радиации.⁶

После аварии на АЭС Три Майл Айленд Комиссия по ядерному регулированию и ядерно-энергетическая промышленность стали уделять повышенное внимание программам радиационной защиты. Основную деятельность в этой области ядерно-энергетическая промышленность сосредоточила в INPO. В настоящее время INPO и ядерно-энергетические компании, эксплуатирующие АЭС, оказывают поддержку программам, направленным на усиление радиационной защиты и обучение персонала, имеющим целью поддержание облучения на минимально возможном уровне. Большинство энергетических реакторов эксплуатируется в таком режиме, который позволяет поддерживать дозы облучения от радиоактивных выбросов на уровне, не превышающем пределов. Практически эти дозы от любых источников составляют менее 0,001 мЗв/г. для всего тела и менее 0,01 мЗв/г. для щитовидной железы. В 1983 г., последнем году, по состоянию на который имеются данные, опубликованные

Комиссией по ядерному регулированию, общая доза облучения, обусловленная радиоактивными выбросами на 80 энергетических реакторах, равнялась 0,95 человеко-зиверта для взвешенных частиц и 0,76 человеко-зиверта для жидких. Средняя доза для лиц, проживающих в радиусе 80 км от реакторов, составила 4×10^{-5} мЗв.

Незапланированные радиоактивные выбросы

Конструкция любого американского ядерно-энергетического реактора гарантирует от взрыва, подобного взрыву ядерного оружия. Кроме того, уран-235 в реакторе сильно разбавлен ураном-238, а скорость нарастания мощности ограничена показателями неизмеримо более низкими по

сравнению с энергией взрыва ядерного оружия. Тем не менее в активной зоне реактора содержится большое количество радиоактивности и выброс значительной ее части может нанести серьезный ущерб здоровью людей, собственности и окружающей среде.

Только те условия или события, которые приводят к расплавлению топлива в реакторе, могут обусловить серьезные последствия для здоровья людей. Самую большую проблему, применительно к используемым в США реакторам, представляет собой ситуация, при которой цепная реакция прекращается, а системы отвода тепла из активной зоны реактора не функционируют. В данном случае температура быстро поднимается до точки плавления топлива. На АЭС Три Майл Айленд оставленный открытым клапан обусловил потерю теплоносителя, а оператор по ошибке отключил аварийную систему охлаждения. В результате произошло частичное расплавление активной зоны реактора.

При высоких температурах плавления реакторного топлива некоторые радиоактивные продукты деления становятся летучими и затем выбрасываются из расплавленного топлива в виде мелких частиц или аэрозолей. Существенная часть аэрозолей оседает на более холодных металлических поверхностях в реакторе. Данный процесс называется „плакировкой“. Срабатывает также система удаления продуктов деления, в которой используются либо разбрызгиватели, либо большие резервуары. Часть продуктов деления в реакторах представляет собой радиоактивные изотопы благородных газов, ксенона и криптона. Поскольку эти газы являются инертными по своей природе, они не создают никакой проблемы при выбросе в атмосферу.

Неблагоприятные последствия расплавления активной зоны для здоровья людей зависят от вероятности прорыва активными химическими продуктами деления стенок противоаварийной оболочки. В отчете Комиссии по ядерному регулированию за 1975 г. был проведен анализ эксплуатации станций с легководными реакторами и сделан вывод о том, что вероятность расплавления активной зоны равняется примерно 1:20000 в год на один реактор.⁹ Коэффициент неопределенности в данном анализе равняется 10, таким образом указанная выше вероятность находится где-то между 1:2000 и 1:200000. В отчете содержится также и вывод о том, что менее чем в 1 % случаев расплавления активной зоны менее обусловленные им объемы выброса радиоактивности будут представлять опасность для жизни. Исходя из выводов Комиссии по ядерному регулированию, можно прийти к заключению, что вероятность расплавления активной зоны, которое при работе 100 АЭС в США в течение 10 лет может привести к выбросу опасных для жизни объемов радиоактивности, составит $100 \times 10 \times 1/20000 \times 1/100$ или 1:2000. Однако данный расчет не учитывает достижений в области обеспечения безопасности, накопившихся в процессе проектирования и эксплуатации атомных электростанций.

Знание характеристик радиоактивных выбросов на атомных электростанциях является полезным при составлении программ защиты населения от таких потенциальных выбросов. Доза первичного облучения ниже, если люди остаются внутри закрытых помещений, поскольку здания обеспечивают защиту от внешней радиации и снижают степень облучения взвешенными радиоактивными частицами. Каркасные здания без подвалов обеспечивают умеренное снижение дозы облучения, а круп-

ные промышленные здания – более заметное.

В случае крупного радиоактивного выброса наилучшая тактика поведения для большинства людей, за исключением тех, кто находится в радиусе нескольких километров от АЭС, будет заключаться в том, чтобы укрыться в домах и зданиях до тех пор, пока начальный выброс радиоактивности или так называемое „радиоактивное облако“ не выйдет за пределы зоны. Жители районов с сильным радиоактивным загрязнением должны быть затем эвакуированы. Даже в наихудшем сценарии, который можно предположить, эвакуация возможна несколько часов спустя после прохода облака. Задержка людей в своих домах на несколько часов преследует три цели. Во-первых, сокращается число лиц, подлежащих немедленной эвакуации; во-вторых, во время прохождения облака люди находятся в укрытии; в-третьих, снижается паника. После прохода облака ответственные органы могут определить загрязнение района и дать дальнейшие инструкции.

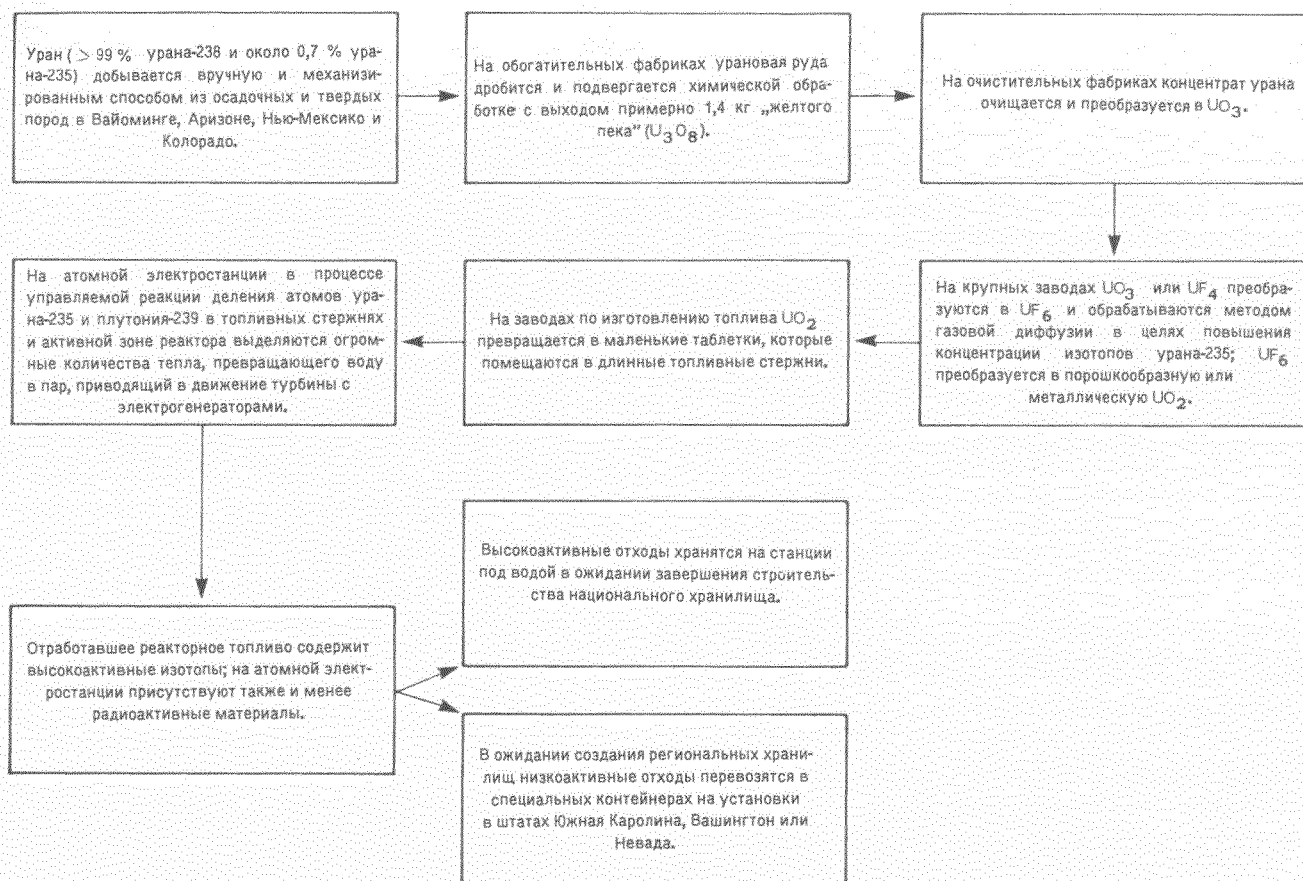
Радиоактивные выбросы в окружающую среду в результате чернобыльской аварии составили миллиарды мегабеккерелей. Тем не менее, эвакуация началась примерно через 48 часов. Люди, находившиеся внутри помещений, получили среднюю дозу облучения примерно в 0,03 Гр, в то время как у людей, находившихся вне укрытия, она составила от 0,1 до 0,15 Гр.¹⁰ Медицинская помощь после взрыва подразделялась на три специальные категории: спасение или первая помощь непосредственно на станции, неотложное лечение в региональных больницах, а также эвакуация и лечение в специализированном центре в Москве.

В случае облучения радиоактивным йодом в целях прекращения его поступления в организм можно применять блокирующий реагент, например, йодистый калий. Блокирующий реагент должен использоваться своевременно и в соответствии с рекомендациями Национального совета по радиационной защите и измерениям США.¹¹ После аварии в Чернобыле русские медики распределяли йод во всех детских заведениях в зоне аварии; считается, что его применение оказалось высокоэффективным.¹²

Предполагается, что диапазон радиационного воздействия в результате серьезных радиоактивных выбросов будет весьма широким. В худшем случае дозы облучения, превышающие 2 Зв, у многих людей могут обусловить лучевую болезнь, а у незначительного числа – представлять угрозу жизни. Только при полном несоблюдении мер защиты гражданского населения можно предположить, что в эту группу попадет большое число лиц, не относящихся к обслуживающему персоналу станции. Чернобыльский опыт, по всей видимости, подтверждает это предположение; никто из гражданского населения не получил дозы, способной вызвать лучевую болезнь. Тем не менее 100 человек получили дозы, превышающие 1 Зв и 31 человек из числа персонала станции и пожарников умер от ожогов и радиационного поражения.^{3, 10}

Радиационному облучению дозами от 0,1 до 1 Зв может подвергнуться большое число людей. Хотя эти люди, как считается, и не могут заболеть болезнями, обусловленными радиационным облучением, им все же придется, по всей вероятности, пережить стресс и чувство страха. Еще большее число людей может получить дозы менее 0,1 Зв и для них, кроме дезактивации, не потребуются никакого лечения. После чернобыльской аварии эта группа насчитывала по меньшей мере 100000 человек.¹⁰ Как показала авария на АЭС Три Майл Айленд, у лиц, прожи-

Главные темы



Происхождение, производство и захоронение ядерного топлива в Соединенных Штатах. (Источник: National Geographic (1979 г.)⁵)

вающих в районе радиоактивного выброса, но не подвергнувшихся поддающемуся измерению радиационному воздействию, могут проявиться симптомы, спровоцированные нервным возбуждением.

Как уже было сказано выше, на легководных реакторах США не может произойти авария чернобыльского типа. Расплавление активной зоны в сочетании с отказом противоаварийной оболочки гипотетически может обусловить выброс радиоактивности, приближающийся в количественном отношении к чернобыльскому варианту. Однако анализ этого сценария предполагает наиболее вероятный конечный результат, аналогичный результату на АЭС Три Майл Айленд. В данном конкретном случае противоаварийная оболочка сработала безотказно, а выброс был оценен примерно в 37×10^{16} Бк благородных радиоактивных газов и менее 111×10^{10} Бк радиоактивного йода. Ни один человек вне атомной электростанции не получил дозы свыше 1 мЗв.

Долгосрочные последствия радиационного облучения могут включать рак, базедову болезнь, катаракты и, возможно, генетические отклонения. Частота возникновения таких последствий среди населения обычно рассчитывается, исходя из консервативного предположения о существовании линейной связи между дозой и последствиями.

Доза облучения всего тела отдельных лиц из

населения колеблется от 10 человеко-зивертов при исправной противоаварийной оболочке до 10^6 человеко-зивертов, если все системы отказывают самым катастрофическим образом. В соответствии с „правилом большого пальца“ при облучении населения дозами в 10000 человеко-зивертов могут иметь место от 200 до 400 смертельных исходов в результате раковых заболеваний, однако не исключается и возможность меньшего числа смертельных случаев или полного их отсутствия¹³. Таким образом, коллективная доза в 10^6 человеко-зивертов может обусловить 40000 смертельных исходов от раковых заболеваний в течение следующих нескольких десятилетий. Подобные случаи, по всей вероятности, будут иметь место в основном в прилегающих к атомной электростанции густонаселенных районах с населением до 10 миллионов человек. Примерно 1,9 миллиона человек умрут от рака „естественным путем“. Радиационное облучение повысит это число менее чем на 2%, и это явление будет трудно идентифицировать.

Наиболее вероятным из предполагаемых наихудших последствий радиационного облучения в результате выброса радиоактивности может быть появление дополнительных узелковых утолщений щитовидной железы на уровне, аналогичном спонтанному уровню. Генетические последствия, вероятно, будут иметь место на уровне 0,1% от естественного уровня, и обнаружить их будет невозможно.¹⁴

Риск, связанный с ядерной энергетикой

Производство электроэнергии безусловно таит в себе определенную долю риска. Например, в июле 1988 г. в результате взрыва на нефтяной буровой вышке в Северном море погибло 166 человек. Подземная добыча угля является одной из опаснейших профессий; в США примерно 100 человек погибает ежегодно при сортировке и транспортировке угля из шахты на электростанции. Продукты сгорания угля загрязняют воздух и повышают заболеваемость. Пепел и остаточные продукты сгорания угля должны удаляться. Все перечисленные выше виды деятельности связаны с риском.

Агентство по защите окружающей среды США, Комиссия по ядерному регулированию США и другие федеральные регулирующие органы предпринимали попытки регламентировать топливные циклы энергопроизводящих технологий с целью исключения необоснованного риска. Например, новые технические стандарты для работающих на угле больших котлов ограничивают выбросы окиси серы и частиц; правила, регулирующие подземную добычу угля, направлены на снижение травматизма и пневмокониоза шахтеров; аналогичное регулирование осуществляется и в сфере защиты населения от радиационного облучения, обусловленного операциями ядерного топливного цикла. В результате всего этого современные угольные и атомные электростанции стали, по всей видимости, безопаснее, чем два десятилетия тому назад.

В начале 70-х годов Саган, Лейв и Фриберг сравнили степень риска для здоровья населения различных энергопроизводящих технологий и пришли к выводу, что атомные электростанции по сравнению с угольными тают в себе значительно меньшую опасность. Повторное исследование данной проблемы, осуществленное в 1984 г. Гамилтоном из Брукхейвенской национальной лаборатории в Аптоне, шт. Нью-Йорк, подтвердило вывод о том, что современные угольные электростанции все еще не достигли уровня безопасности АЭС.^{15, 16, 17}

В сфере угольной промышленности проблемы подземной добычи и загрязнения воздуха занимают первое место в расчетах уровней заболеваемости и смертности; за ними следуют опасности, связанные с транспортировкой. Если уголь добывается под землей, а затем транспортируется по железной дороге, то в рамках топливного цикла, начиная от добычи угля до его транспортировки к тепловой станции, по расчетным данным, происходит 279 заболеваний и травм наряду с 18,1 смертельных исходов на один гигаватт-год.¹⁷ Наоборот, в рамках ядерного топливного цикла при подземной добыче урана эта цифра сводится к 17,3 случаев заболеваний и травм и одному смертельному исходу на один гигаватт-год.

Расчеты смертельных исходов и заболеваемости являются в какой-то степени неопределенными, поскольку сложно прийти к согласию относительно последствий для здоровья выбросов частиц и окиси серы на угольных электростанциях и риска для населения в результате инцидентов на АЭС. По мнению Морриса и др., тепловые станции, работающие на нефти и газе и использующие современную технологию, в какой-то мере более безопасны по сравнению с теми, которые используют угольную или ядерную энергию, а солнечные технологии менее безопасны, поскольку в некоторых солнечных батареях используются токсичные материалы, а для аккумуляции солнечной энергии создаются

крупноразмерные конструкции и всякие травмы здесь ассоциируются с наличием этих конструкций.¹⁸

Ядерная энергетика, врачи и общество

Для поддержания деловой активности, освещения своих домов и школ, функционирования вентиляционных систем, обеспечения продовольствием и удовлетворительного медицинского обслуживания, а также для многих других целей Соединенные Штаты нуждаются в адекватном количестве электрической энергии. Ядерная энергия является одним из альтернативных источников электроэнергии наряду с углем, нефтью, газом, водой, ветром и солнцем. Ядерная энергия связана также с образованием ионизирующего излучения, отрицательно сказывающегося на здоровье человека. Врачи должны знать принципиальные основы получения энергии от этих источников.

Опыт показывает, что в случае серьезного происшествия на атомной электростанции к врачам будут обращаться с запросами пациенты, члены их семей, корреспонденты, коллеги и многие другие. Врачи должны также знать, как провести количественное измерение радиационных выбросов и быть в состоянии дать надлежащий совет пациентам и населению. Врачи должны уметь распознавать признаки, симптомы и проводить дифференцированный диагноз радиационного поражения, а также понимать важность специфических гематологических тестов. (Публикации по пп. 19 и 20 библиографического перечня к данной статье должны быть в каждом учреждении, поликлинике и в аварийных организациях.) В сложных ситуациях может потребоваться консультация эксперта, которую вы сможете получить в течение 24 часов из Центра аварийной радиационной помощи при учебном комплексе в Ок-Ридже, шт. Теннесси, тел. 615/482-2441.

Общественность рассматривает врачей как людей, хорошо осведомленных и способных дать содержательный совет по вопросам, касающимся решений и деятельности, связанных с риском для здоровья людей. С просьбой о помощи в планировании аварийных мероприятий на случай радиационных и химических выбросов, пожара и стихийных бедствий к ним могут обращаться различные муниципальные организации, такие, например, как полиция, управление пожарной охраны, органы радиационной защиты, аварийные службы, больницы и промышленные предприятия. В решении этих вопросов, по всей вероятности, примут участие губернатор и его администрация, а также официальные органы власти штата. Помощь будет оказываться и по линии федеральных органов и программ, таких как Федеральное агентство по ликвидации аварий, Служба по охране здоровья населения США, Национальная медицинская служба по оказанию помощи в аварийных ситуациях и Комиссия по ядерному регулированию. Большинство из перечисленных организаций имеет свои филиалы в Бостоне, шт. Массачусетс; Нью-Йорке, шт. Нью-Йорк; Филадельфии, шт. Пенсильвания; Атланте, шт. Джорджия; Чикаго, шт. Иллинойс; Далласе, шт. Техас; Канзас-Сити, шт. Канзас; Денвере, шт. Колорадо; Сан-Франциско, шт. Калифорния, и Сиэтле, шт. Вашингтон.

Еще одна дополнительная проблема, в решении которой врачи могли бы оказывать помощь, касает-



АЭС Онагава, Япония.

ся роли науки в обществе. Все люди, включая и врачей, получают пользу от процветающей науки и техники и страдают от их увядания. Для оптимального функционирования общества все его члены должны иметь достаточное представление о научных принципах и концепциях, которые помогут им в принятии решений по принципиальным проблемам, таким как ядерная энергия, химикаты в питьевой воде, опасные отходы, пестициды и продовольственные добавки.

Многие здравомыслящие американцы считают, что современные учебные процессы в США ограничивают понимание науки молодыми людьми. Поскольку врачам принадлежит ведущая роль в различных сообществах страны, они могут попытаться сузить рамки этих ограничений посредством совершенствования учебного процесса в области науки и техники, а также в сфере их применений.

Рекомендации

Совет по делам науки при Американской ассоциации врачей рекомендует:

- **Потребности в электроэнергии** – для охраны здоровья людей и прогресса науки необходимы адекватные мощности для производства электричества.

- **Энергосбережение** – должны продолжаться и наращиваться усилия по энергосбережению и эффективному использованию энергии.

- **Безопасность производства электричества** – в течение последних десятилетий производство электричества в США стало более безопасным и благоприятным с точки зрения охраны окружающей среды.

- **Безопасность ядерной энергетики** – безопасность производства электричества на АЭС в США является приемлемой.

- **Безопасность реакторов** – энергетические реакторы в Соединенных Штатах проектируются и строятся с учетом их безопасной эксплуатации и предотвращения случайных выбросов радиации и радиоактивности; характеристики безопасности реакторов доказали свою эффективность.

- **Облучение персонала** – дозы ионизирующего облучения персонала в последние десятилетия снизились и являются исключительно низкими.

● **Захоронение радиоактивных отходов** – каждый штат должен стремиться к достижению своей цели, поставленной конгрессом США, – к 1 января 1993 г. решить проблему захоронения низкоактивных отходов.

● **Роль врачей** – врачи должны располагать информацией о том, как лечить людей, подвергшихся ионизационному облучению. На них ложится высокая ответственность за дачу рекомендаций населению и за реагирование на обеспокоенность,

вызванную радиационной аварийной ситуацией. Они должны также помогать совершенствованию понимания общественностью преимуществ и опасностей ядерной энергии.

● **Роль Американской ассоциации врачей** – ассоциация должна продолжать руководство всеми видами деятельности, имеющей отношение к здоровью людей, и поддерживать у врачей знание этих технологий в контексте медицинского обслуживания на соответствующем уровне.

Библиография

1. *Energy in Transition: 1985-2010*, National Research Council, W.H. Freeman & Co, New York, NY (1979).
2. *Commercial Nuclear Power 1987 – Prospect for the United States and the World*, US Department of Energy, Energy Information Administration, Washington, DC (1987).
3. "A Visit to Chernobyl", by R. Wilson, *Science*, 236:1636-1640 (1987).
4. "Nuclear Power after Chernobyl", *Science*, 236:673-679 (1987).
5. *Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources*, by M. Eisenbud, 3rd. ed., Academic Press Inc., Orlando, FL (1987).
6. *Radiological Assessment: Predicting the Transport, Bioaccumulation, and Uptake by Man of Radionuclides Released to the Environment*, National Council on Radiation Protection and Measurements; Report No. 76, Bethesda, MD (1984).
7. *A Study of the Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Waste*, Board on Radioactive Waste Management, National Academy of Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC (1983).
8. *Public Radiation Exposure from Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 92, Bethesda, MD (1987).
9. *Reactor Safety Study, an Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plants*, US Nuclear Regulatory Commission; Publication WASH 1400, Washington, DC (1975).
10. "Soviet medical response to the Chernobyl nuclear accident", by R.E. Linnemann, *JAMA*, 258:637-643 (1987).
11. *Protection of Thyroid Gland in the Event of Releases of Radioiodine*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 55, Washington, DC (1977).
12. "Radiological consequences of the Chernobyl accident in the Soviet Union and the measures taken to mitigate their impact", by L. Ilyin and O. Pavlovskij, *IAEA Bulletin*, Vol. 29, No. 4 (1987).
13. *The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Division of Medical Sciences, Assembly of Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC (1980).
14. "Chernobyl: a radiobiological perspective", by J. Goldman, *Science*, 238:622-625 (1987).
15. "Human cost of nuclear power", by L.A. Sagan, *Science*, 177:487-493 (1973).
16. "Health effects of electricity generation from coal, oil and nuclear fuel", by L.B. Lave and L.C. Freeberg, *Nuclear Safety*, 14:409-428 (1973).
17. "Practical consequences of the assessment of different energy health risks", by L.D. Hamilton, *Environ Int.*, 10:383-394 (1984).
18. *Health and Environmental Effects of the National Energy Plan: A Critical Review of Some Selected Issues*, S.C. Morris, H. Fischer, C. Calef, et al., Brookhaven National Laboratory; Report 51300, Upton, NY (1980).
19. *Medical Basis for Radiation Accident Preparedness*, K.F. Huebner, S.A. Fry, Elsevier North-Holland, New York, NY (1980).
20. *What the General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of Overexposed Individuals*, IAEA, Vienna (1986).

