

Сравнительные биологические опасности химических загрязнителей и излучений

Рамендра Нат Мукерджи

В дискуссии об опасных биологических последствиях ионизирующего излучения и химических веществ одной из наиболее важных предпосылок является четкое определение поставленной задачи и конкретных критериев с тем, чтобы иметь возможность оценить эти проблемы в реальной перспективе. Известно, что как ионизирующее излучение, так и многие химические вещества представляют опасность для здоровья человека и других организмов. Кроме того, вызывая биологические последствия, эти два вида воздействия характеризуются взаимосвязью между дозой и реакцией. Это приводит к предположению, что путем максимального сокращения степени облучения, вредные последствия этих двух видов воздействия могут быть в значительной степени сокращены или даже полностью предотвращены.

Поэтому при применении излучений и химических веществ в некоторых конкретных и полезных для человека целях необходимым требованием должна быть разработка программы надежной защиты. Основной принцип программы должен заключаться в том, чтобы избежать любого излишнего воздействия на людей, чтобы любое неизбежное воздействие как на рабочих, так и на представителей населения, было сокращено до минимума. Дополнительным требованием является в то же время то, чтобы даже такое неизбежное воздействие не превышало определенных установленных пределов. Эти принципы основаны на вероятности того, что даже самое легкое воздействие может повлечь за собой некоторую опасность риска, что любая опасность риска должна быть оправдана обстоятельствами, обуславливающими ее необходимость, и что риск должен быть всегда ограничен достаточно низким уровнем. Этот принцип имеет первостепенное значение и должен служить средством при любых попытках контролировать наличие таких опасных видов воздействия.

Мирное применение излучения достаточно хорошо контролируется программами охраны здоровья. Отрадно вспомнить, что еще когда первый ядерный реактор достиг критичности примерно 35 лет тому назад, уже имелась информация, основанная на нескольких десятилетиях тщательных критических исследований различных видов опасных эффектов, которые может вызывать радиация, а также информация о частоте их проявления при определенном облучении. В это время уже была создана Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ), которая имела рекомендованные нормы пределов доз облучения и руководства.

В резком отличии от областей мирного применения ядерной энергии и промышленности, которые с самого начала развивались в атмосфере осторожности, не было

Д-р Мукерджи — сотрудник Секции радиационной биологии и научных исследований окружающей среды в связи с охраной здоровья, Отдел биологических наук. Мнения, выраженные в настоящей статье, являются собственными мнениями автора.

своевременно предпринято усилий для критического понимания опасности токсических химических веществ, выбрасываемых в атмосферу электростанциями, работающими на ископаемых видах топлива, и другими установками химических и нефтехимических предприятий. Всемирная тенденция растущей озабоченности стала заметной лишь в последнем десятилетии, и были предприняты попытки защитить человека и окружающую его среду от губительных последствий химических загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду, образующихся в результате человеческой деятельности.

Об этой растущей заботе о сохранении чистой, жизнеспособной среды свидетельствуют организованная ООН конференция в Стокгольме в 1972 году на тему "Человек и его среда", а также последующее создание специализированного учреждения ООН (Программа ООН в области окружающей среды, или ЮНЕП). Одновременно было создано несколько национальных, региональных и межрегиональных научных обществ для определения, контроля и содействия предотвращению возможного дальнейшего воздействия на человека ядовитых токсичных веществ. Значение проблемы воздействия на человека химических загрязнителей в окружающей среде можно оценить на основании того факта, что в одних только Соединенных Штатах производится и используется примерно 500-600 тыс. химических веществ (это число растет ежегодно примерно на 500). Аналогичные цифры могут быть приведены и по другим промышленным регионам.

В этой статье будет продолжено рассмотрение сравнительных биологических опасностей химических загрязняющих веществ и излучения по следующим тематическим группам: i) их источники, включая относительную распространенность в окружающей среде; ii) механизмы воздействия, вызывающие биологические эффекты; iii) их относительное влияние на здоровье человека и на окружающую среду; и iv) состояние действующих и предлагаемых регламентирующих мер и средств по охране здоровья человека от этих загрязняющих веществ.

ХИМИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЗДОРОВЬЕ

Начало неблагоприятных изменений природной окружающей среды в результате деятельности человека уходит корнями в те времена, когда человек впервые научился добывать огонь. С тех пор продукты сгорания постоянно находили доступ в атмосферу и загрязняли окружающую среду. Важная веха в истории загрязнения окружающей среды совпадает с промышленной революцией, произошедшей два столетия тому назад. Одновременно с появлением все большего числа источников энергии в виде угля и других ископаемых видов топлива и их использованием в различных промышленных процессах с целью удовлетворения растущих потребностей урбанизации и повышения уровня жизни, темпы загрязнения окружающей среды катастрофически возросли.

В таблице 1 показан рост производства некоторых типичных химических веществ в США. Об одном из аспектов этого избытка свидетельствует тот факт, что в настоящее время имеется более 55 тыс. рецептов пестицидов, зарегистрированных в Министерстве сельского хозяйства. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA), которое по закону США обязано выдавать удостоверения о безопасности инсектицидов и добавок к пищевым продуктам, получает в среднем примерно по одному новому заявлению

Таблица 1: Производство синтетических органических химических веществ (в миллионах фунтов в год)

	1938	1958	1966	1980 (расчетные данные)
Пластмассы	130	4500	13 585	75 000
Синтетический каучук	5	2200	3929	10 000
Поверхностные активные вещества	—	1355	3321	8500
Инсектициды и сельскохозяйственные химикалии (кроме удобрений)	8	540	1013	6350

Источник: Доклад Тарифной комиссии США.

нию каждый рабочий день в году. Подобное положение имеет место в других промышленно развитых странах с некоторыми различиями в деталях и количествах. Эти химические и нефтехимические предприятия выбрасывают в виде отходов большие количества токсичных и ядовитых веществ в атмосферу. Население, где бы оно ни находилось, не говоря уже о профессиональной группе населения, занятого на этих предприятиях, подвергается, таким образом, хроническому воздействию с последующей опасностью для здоровья.

В таблице 2 показаны тенденции энергетических источников, оцененные до конца текущего столетия. Считается, что два из этих энергетических источников, а именно ископаемое топливо и ядерное топливо, создают проблему сохранения

Таблица 2: Прогнозы общей установленной мощности электроэнергии и мощности электроэнергии за счет АЭС (в тыс. МВт)

	1976	1977	1980	1985	1990	2000
Общая электрическая мощность	1700	1800	2200	2800-3000	3600-3900	5900-6600
Общая ядерная мощность	85	95	170	300-400	500-700	1300-2000
Доля ядерной энергии в %	5	5,3	8	11-13	14-18	22-30

Источник: Ежегодный доклад МАГАТЭ за 1977 г.

благоприятной для здоровья человека окружающей среды. Сгорание ископаемого топлива создает серьезные проблемы загрязнения воздуха. Ядерные энергетические источники, хотя потенциально и могут привести к радиационному загрязнению, на протяжении более чем трех десятилетий успешно сохраняют за собой рекорд безопасности благодаря непрерывному усовершенствованию технологии и строгому наблюдению и дозиметрическому контролю во время эксплуатации.

Уголь, нефть и другие энергетические источники, относящиеся к ископаемому топливу, загрязняют окружающую среду окисью серы и другими продуктами, содержащими серу. Углеродистые частицы, избыточные количества летучей золы, двуокись углерода, некоторые тяжелые металлы, например ртуть, относятся к числу загрязнителей, которые попадают в атмосферу в результате эксплуатации обычных энергетических установок. Заводы по производству химических веществ, химических продуктов из нефтяного сырья, каучука, пластмасс, пестицидов и красителей для текстильных изделий продолжают перегружать окружающую человека среду большим количеством ядовитых химических загрязнителей.

К этому числу можно добавить такие загрязнители, как окись углерода, канцерогенные углеводороды и металлический свинец, содержащиеся в автомобильных выхлопных газах. В настоящее время во всем мире используется более 3500 пищевых добавок. Использование полифенолов для сохранения пищевых продуктов может явиться еще одной потенциальной опасностью для здоровья. Инсектициды, содержащие хлорированные углеводороды, например ДДТ, дieldрин, эндрин, остаются в почве и могут быть перенесены в пищевую цепочку человека.

Список опасных химических веществ в окружающей человека среде можно рассматривать лишь как часть общего количества веществ, воздействию которых постоянно подвержены различные группы населения. Как правило, до недавнего времени мировая общественность не проявляла большого беспокойства по поводу опасности для здоровья, связанной с этими химическими загрязнителями. Во многих случаях беспокойство проявлялось лишь после катастрофы, например после отравления ртутью в Минамата, Япония, и болезни "итаи итаи", вызванной загрязнением кадмием.

Кроме того, для химических загрязнителей воздуха и воды отсутствуют границы. Сокровищам искусства и историческим памятникам древних цивилизаций Рима и Афин наносится ущерб кислотами и газами из автомобильных выхлопов, а также промышленным смогом. Снег, выпадающий над норвежскими лесами, ложится на землю серым от сажи и минеральных отходов из промышленно развитых районов, расположенных далеко от национальных границ. Остатки инсектицидов, например ДДТ, химических удобрений, хлористого винила с заводов по производству пластмасс, тяжелых металлов, например ртути, свинца, кадмия и ванадия, а также подвергшиеся утечке сырая нефть и нефть передвигаются все в больших количествах в обоих полушариях под действием ветра и океанических течений. Таким образом, многие проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды химическими веществами, являются не только национальными проблемами по масштабам и квалифицируются как "глобальные проблемы", которые должны быть решены посредством соответствующих международных мер.

РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Обсуждение вопроса об ионизирующих излучениях в окружающей среде должно начаться с национальных источников информации. Человечество с незапамятных времен подвергается малоинтенсивному гамма-излучению и воздействию космических лучей, а также испытывает воздействие радиоизотопов, содержащихся в земной коре. Кроме того, радиоактивные вещества, которые выщелачиваются или поглощаются из почвы и попадают в пищевые продукты или воду, облучают человека изнутри. Средняя доза ионизирующего излучения из этих природных источников, называемая также "фоновой", составляет в мировом масштабе примерно 100 миллибэр в год, причем обычное отклонение может изменяться почти в два раза.

На современном этапе развития ядерной технологии двумя основными источниками облучения населения искусственной радиацией могут быть признаны:

а) медицинские источники облучения и б) радиоактивные отходы, образующиеся на ядерных установках. К этому можно причислить третью категорию – выпадения в результате ядерных испытаний (значение которых в настоящее время постепенно сокращается) .

Наибольший прирост к природному фоновому излучению (100 миллибэр в год) составляет 25-50 миллибэр в результате диагностического применения рентгенового излучения. Последние достижения технологии, включая использование высокочувствительной пленки и ограничение облучаемых участков посредством локализации, позволяют надеяться на дальнейшее сокращение этой дозы облучения не менее чем на 75%. Промышленные источники ионизирующих излучений, включая быстрый рост программ ядерной энергетики, лишь в очень незначительной степени способствовали увеличению дозы облучения населения. Достижения ядерной технологии в области безопасности характеризуются прежде всего высоким уровнем технологии, наряду с разумным использованием строгого руководства и методики наблюдения.

Более 99,9% радиоактивности, образующейся в энергетических реакторах, удерживается внутри оболочек твэлов, до тех пор пока они не подвергаются переработке. Благодаря этому, а также тому факту, что один завод по переработке топлива может обслуживать большое число энергетических реакторов, не ожидается большого влияния этой радиоактивности на природную среду. Результаты систематического изучения характеристик выбросов в окружающую среду с действующих кипящих реакторов показали, что содержащиеся в жидких отходах ^3H , ^{58}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}I и ^{137}Cs будут способствовать повышению общей активности в среднем на $0,189 \times 10^{-7}$ н Ки/мл в течение одного года. Кроме того, газообразные выбросы включают продукты деления благородных газов ^{85}Kr и ^{133}Xe .

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ И РАДИАЦИИ

Вскоре после открытия рентгеновских лучей и радиоактивности, в результате исследования биологических последствий ионизирующего излучения было показано его смертоносное воздействие как на отдельные клетки, так и на организмы в целом. Примерно в это же время, в конце первой четверти текущего столетия,

Г.Й.Мюллер открыл мутагенное воздействие ионизирующего излучения. Это открытие, явившееся ценным инструментом для генетических исследований, в то же время открыло целый спектр новых видов опасности для здоровья, а именно, вред для будущих поколений, которым еще предстоит родиться.

В результате исследований биологических систем (с использованием доз облучения, значительно превышающих дозы, которые потенциально может получить население в условиях окружающей среды) было показано, что генетические эффекты ионизирующего излучения находятся в прямой зависимости от получаемой дозы. Кроме того, предполагается, что не существует пороговой дозы, ниже которой генетические последствия не ожидаются. Этот осторожный подход, основанный на концепции "для генетических повреждений не существует порога" использовался различными международными и национальными консультативными органами, например, МКРЗ и Федеральным советом США по радиации, при определении доз, допустимых для широкого населения и для рабочих, имеющих дело с облучением.

Примерно спустя 10-15 лет после начала исследований биологических эффектов ионизирующего излучения К.Ауэрбах из Соединенного Королевства начал изучение генетического воздействия химических веществ на биологические системы. Быстрые успехи исследований в области биологии клетки и генетики в результате открытия ДНК как химической и молекулярной основы наследственности и функций клеток, ускорили понимание основных механизмов биологического воздействия излучения и химических веществ. Если не говорить о различиях в деталях механизма химического воздействия на ДНК, конечные биологические эффекты, вызываемые большинством химических веществ, весьма сходны с эффектами, вызываемыми ионизирующим излучением. Другими словами, большинство химических эффектов "имитируют" радиационные эффекты, поэтому они были названы "радиомиметическими веществами".

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Хотя и предполагается, что все большее число химических загрязняющих веществ вызывает рак различного вида, все еще отсутствуют относящиеся к человеку систематические данные, которые можно было бы использовать для статического анализа опасностей, связанных с ионизирующим излучением. К таким канцерогенам относятся неорганические вещества, например асбест, мышьяк, хром, никель, а также такие органические вещества, как бензопирен, бензидин, хлористый винил и, среди них, каменноугольные смолы.

Бензопирен образуется в больших количествах в результате сжигания угля и присутствует также в автомобильных выхлопных газах. Концентрации бензопирена в различных крупных городах мира колеблются от 1 до 4 нг/м³ (кроме районов с высокой концентрацией промышленных предприятий). Было рассчитано, что эквивалент дозы облучения для 1 нг/м³ бензопирена, содержащегося в воздухе, равняется 240 миллибэр/год. На основании этого можно сделать вывод, что существующая в настоящее время опасность только от вдыхания бензопирена примерно в 100 раз превышает опасность от предполагаемой дозы облучения в результате осуществления большой ядерной энергетической программы.

Некоторые из последних данных об опасностях для здоровья в результате малоинтенсивного хронического воздействия ряда специфических химических загрязнителей, основаны на результатах эпидемиологических исследований. Классическим примером является обследование рабочих, работающих на предприятиях по производству пластмасс и подвергающихся воздействию отходов хлористого винила. О значительном увеличении случаев заболевания особым видом рака печени — ангиосаркомой, среди рабочих, подвергающихся воздействию химических загрязнителей, было сообщено из различных стран, и на основании этих исследований были установлены канцерогенные свойства хлористого винила. Аналогичные эпидемиологические и экспериментальные исследования некоторых терапевтических веществ, таких как галотан, применяемый для анестезии, гикантон, используемый для борьбы с шистозомозом, и диэтилстильбэстрол, применяемый для лечения рака шейки матки, показали канцерогенные и мутагенные побочные эффекты у пациентов, прошедших лечение, и в некоторых случаях даже у потомства. Экспериментальная проверка большого числа химических веществ, включенных в список повседневного использования и находящихся непосредственно в окружающей среде, показала, что некоторые из них имеют потенциальные мутагенные и канцерогенные свойства.

Таблица 3: Сравнительные оценки воздействия на здоровье, связанные с различными источниками энергии* (данные, стандартизированные по всем этапам топливного цикла, при производстве 10^{10} кВт.ч электроэнергии)

Топливо	Расчетное количество смертных случаев	Расчетное количество случаев инвалидности
Уголь	10-200	300-500
Нефть	3-150	150-300
Газ	0,2	20
Ядерная энергия	1-3	8-30

* Расчет основан на данных США 1975 г.

Источник: Л.Д. Хамилтон и А.С. Манн.

В таблице 3 показаны сравнительные оценки воздействия на здоровье, связанные со всеми этапами топливного цикла, включая имеющиеся в настоящее время альтернативные источники энергии. Оценки даются согласно расчету, выполненному Отделом биомедицинских и экологических оценок (BEAD) в Брукхейвене на основании данных США 1975 г. Эти данные сравнительного воздействия излучения от ядерных энергетических источников и ископаемого топлива весьма красноречивы. Загрязнение воздуха в результате использования ископаемых видов топлива является самым значительным фактором увеличения числа зарегистрированных смертных случаев.

МЕРЫ БОРЬБЫ С ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Исследования по выявлению предполагаемых химических загрязнителей и оценка их канцерогенного и мутагенного воздействия при наименее интенсивных дозах облучения начаты различными региональными центрами мира. В этих работах принимаются во внимание опасные химические вещества, имеющие местное значение, которые применяются повсеместно в промышленности, при производстве пищевых продуктов, в сельском хозяйстве и общественном здравоохранении. Если в ходе такого исследования обнаруживается, что какое-либо химическое вещество имеет мутагенные и/или канцерогенные свойства, воздействующие на биологическую испытываемую систему (системы), это вещество рекомендуют для изъятия из продажи, и вместо него внедряется неканцерогенный заменитель, если таковой имеется. Такие работы проводятся под эгидой национальных и региональных научных обществ, занятых исследованием содержащихся в окружающей среде канцерогенов и мутагенов, и координируются Международной ассоциацией обществ по исследованию мутагенов, содержащихся в окружающей среде (IAEMS) и Национальным научно-исследовательским институтом гигиены окружающей среды США (NIEHS), в частности.

Международные научные эксперты в области экологических исследований вновь рекомендовали создание "Международной комиссии по защите против мутагенов и канцерогенов, содержащихся в окружающей среде" — примерно по образцу Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Вновь признано, что решению проблем, относящихся к защите человека от химических загрязнителей, мог бы в значительной степени способствовать большой соответствующий опыт в ядерных областях и, в частности, успешные результаты защиты против радиации. В настоящее время предпринимаются попытки "выразить" опасные биологические последствия конкретных химических загрязнителей в единицах "химической дозы, эквивалентной рад", или REC (т.е. эквивалентные биологические эффекты, выраженные, к примеру, мутагенностью или канцерогенностью, вызываемой некоторыми уровнями доз химического вещества и ионизирующего излучения, выраженные в единицах рад). Такая попытка имеет целью выразить общий "ожидаемый риск для здоровья" от комбинированного воздействия химических загрязнителей и излучения в окружающей среде. Само собой разумеется, что эти попытки находятся на первоначальном этапе и все еще связаны с многими техническими неопределенностями.

Преследуя свои цели, МАГАТЭ способствует практическому применению ядерных методов с целью помочь решению проблем борьбы с загрязнением окружающей среды. Например, в результате поддержки исследований и их координации методы нейтронного активационного анализа были приспособлены для эпидемиологических обследований, выполняемых с помощью анализа концентрации тяжелых металлов в образцах волос человека. Активационный анализ также стал применяться для обнаружения остатков пестицидов и для выяснения зависимости между загрязнением металлами и случаями заболеваний сердечно-сосудистой системы. Генетическая (биологическая) борьба с насекомыми-вредителями сельскохозяйственных культур ("метод стерилизации мужских особей" с использованием гамма-излучения) помогает избавить окружающую среду от перегрузки опасными химическими пестицидами. Деятельность по программе Отдела ядерной безопасности и защиты окружающей среды Агентства включает подготовку норм и руководящих принципов радиационной безопасности в различных областях обращения с ядерными материалами, используемыми в мир-

ных целях, включая безопасное удаление радиоактивных отходов с ядерных установок.

Полезная текущая информация по этим областям мирного применения ядерной энергии распространяется среди государств-членов посредством научных совещаний и учебных курсов, предоставления технической помощи, стипендий и услуг экспертов, а также публикации трудов совещаний, руководств и технических докладов. Во всех видах этой деятельности поддерживается сотрудничество с соответствующими программами ЮНЕП, ВОЗ и ФАО.

ВЫВОДЫ

Выбрасываемые в окружающую среду химические загрязнители, являющиеся продуктом эксплуатации обычных источников энергии, а также промышленности, предположительно представляют опасность для здоровья человека и для природных ресурсов. Недостаточное знание их сложных механизмов взаимодействия с биологическими системами является, по-видимому, наибольшим препятствием для текущих попыток реалистической оценки опасности для здоровья химических загрязняющих веществ на краткосрочный и долгосрочный период. Тем не менее, их вредные для здоровья последствия становятся все более и более очевидными благодаря последним эпидемиологическим обследованиям рабочих на обычных энергетических установках и широкого населения, постоянно подвергнутого воздействию химических загрязняющих веществ.

До сих пор ядерной энергии удается удерживать за собой прекрасную репутацию с точки зрения безопасности для здоровья. Имея в виду планируемое расширение ее применения, необходимо продолжать исследования биологических последствий малоинтенсивного излучения и радиоизотопов с целью переоценки последствий с точки зрения безопасности для здоровья. Однако прогнозы, составленные на основании прошлого опыта, наряду с продолжающимися работами по повышению безопасности для здоровья человека, по-видимому, оправдывают предположение о том, что планируемое расширение программ развития ядерной энергетики не окажет неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Потенциальная опасность и трудности, связанные с наличием радиации в окружающей человека среде, оказались преодолимыми. В настоящее время задача заключается в том, чтобы уделять большее внимание охране здоровья человека и окружающей среды от химических загрязнителей.

Библиография

1. NUCLEAR POWER AND THE ENVIRONMENT, prepared by the IAEA in co-operation with WHO (1972).
2. BRIDGES, B.A., "Radiation-equivalent dose of chemical mutagens: Problems and perspectives", in: Radiological Protection (Ed. R. Chanet), Comm. of the European Communities (1977).
3. HAMILTON, L.D., MANNE, A.S., "Health and Economic Costs of Alternative Energy Sources" (Proceedings of IAEA International Conference on Nuclear Power and Its Fuel Cycle, Salzburg, May 1977) 7, IAEA, Vienna (1977) 73-93.
4. INFANTE, P.F., et al., "Carcinogenic, mutagenic and teratogenic risks associated with vinyl chloride", Mutation Res. 41, (1976) 131-142.
5. ENVIRONMENTAL MUTAGENIC HAZARDS, Report of the Committee 17 of the Council of the Environmental Mutagen Society, Science, 187 (1975) 503-514.
6. ENVIRONMENTAL HEALTH IN BIOLOGY AND THE FUTURE OF MAN, (Ed. by Philip Handler, President, Natl. Acad. Sci.), Oxford University-Press (1970) 831-887.