

Роль логических суждений в достижении защиты от радиации

Лористон С. Тейлор

ИОНИЗИРУЮЩАЯ РАДИАЦИЯ КАК ТОКСИЧНЫЙ АГЕНТ

Ионизирующая радиация известна человеку почти 85 лет, и лишь несколькими неделями меньше известно, что при достаточном облучении людей ионизирующей радиацией они могут получить повреждения явного и определенного характера. Неизвестно только, существует ли нижний предел облучения, ниже которого человек не получит повреждений, а выше — получит. Такое положение дел не представляет собой ничего необычного, за исключением одного: по сравнению с большинством других возможных вредных агентов ионизирующая радиация (в дальнейшем называемая радиацией) всегда была частью нашей природной среды. Хотя общепризнано, что радиация является частью окружающей среды, человеку неизвестны пути, с помощью которых ее присутствие может быть полностью исключено, или хотя бы значительно уменьшено или нейтрализовано. Человек всегда жил до некоторой степени во враждебном окружении. Однако величайшее различие между жизнью человека и животного заключается в том, что в большинстве случаев человек находил способы приспособиться к жизни с учетом окружающих опасностей, контролировать, уменьшать, а в некоторых случаях и исключать их.

Для всех практических целей радиация подобна другим токсичным агентам или загрязнителям. По существу она действительно не очень отличается от множества других токсичных агентов как в отношении их действия, так и в отношении того, как можно их избежать или контролировать. Однако принципы обращения с радиацией и ее контроля в качестве токсичного агента поняты намного лучше и применялись строже, чем в отношении химических или биологических агентов, и важно должным образом оценить этот факт.

О радиации говорят, что она обладает коварными свойствами, так как ее нельзя увидеть, попробовать на вкус, почувствовать или понюхать. Однако те же ограничения применимы и к множеству других токсичных агентов, в окружении которых так или иначе мы живем. Радиация может вызвать раковое заболевание и неблагоприятные генетические эффекты, при этом возможен длительный латентный период между облучением и эффектом. В этом нет ничего необычного, многие химикалии и условия окружающей среды действуют аналогичным образом.

Д-р Тейлор — бывший президент Национального комитета США по защите от облучения и дозиметрии.

С другой стороны, в противоположность многим столь же опасным токсичным материалам, радиацию можно легко измерить и контролировать на уровнях, в тысячи раз меньших, чем те, которые когда-либо были выявлены как опасные.

Это не должно расцениваться как принижение возможного риска, связанного с использованием радиации, или необходимости защиты от радиации; цель заключается в том, чтобы привести проблему радиации в некоторого рода приемлемое равновесие со многими другими опасностями, вызываемыми агентами, которые мы принимаем как неотъемлемую часть нашего образа жизни. Но здесь мы сталкиваемся с реальной проблемой. Каким образом мы решаем, что такое приемлемое равновесие, и кто это решает? Исчерпывающих ответов на эти два вопроса, разумеется, нет, и неизвестно, когда к общему удовлетворению они будут получены.

ОЦЕНОЧНЫЕ СУЖДЕНИЯ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Ввиду невозможности экспериментального определения стопроцентно безопасного верхнего предела облучения любое решение проблемы радиационной защиты представляет собой сочетание данных науки и техники, с одной стороны, и оценочных моральных, социальных, экономических и политических суждений, с другой [1]. Это было ясно еще в начале 20-х годов, когда были предприняты первые попытки установить дозу радиации, которая могла бы быть приемлемой с точки зрения биологического эффекта.

Для пояснения проблемы будет полезно обратиться к источникам нынешних норм радиационной защиты, а затем посмотреть, каким образом разрабатывались наши современные нормы на основе тех ранних концепций. Хотя для этого потребовалось бы вернуться более чем на 50 лет назад, первое ясное заявление относительно допустимого профессионального облучения [2]*, подготовленное Национальным комитетом по защите от облучения (НКЗО)**, было сделано лишь в 1949 году, а годом позже оно было принято с небольшими редакционными поправками Международной комиссией по радиационной защите [3]. Заявление НКЗО гласило: "Доза ионизирующей радиации может считаться допустимой в том случае, если в свете имеющихся значений не ожидается, что она причинит заметный физический ущерб человеку в любой момент на протяжении всей его жизни. В данном случае термин "ощутимый физический ущерб" означает любой физический ущерб или эффект, который обычный человек считал бы нежелательным и (или) компетентные органы считали бы вредным для здоровья и благополучия индивидуума". Это заявление основывается на логических суждениях. Вопрос, на который еще нет ответа, заключается в том, каким образом определить, что было бы допустимым, приемлемым или ощутимым.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ НОРМ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

В течение многих лет, примерно до 1930 года, клиническая доза радиации выражалась в единицах, считавшихся тогда биологическими. Эта единица называлась "пороговой эритемной дозой" (ПЭД). На основе экспериментов и клинического опыта та-

* См. предисловие, стр. v в библиографическом источнике [2] и стр. iii в библиографическом источнике [13].

** Теперь Национальный комитет по защите от облучения и дозиметрии.

кой единицей считалась доза рентгеновских лучей, необходимая для возникновения эритемы (опкраснения) кожи, которая определялась на основе рабочих характеристик, включающих размер поля рентгеновских лучей, силу тока в трубке, напряжение на трубке, расстояние между трубкой и пациентом и время появления покраснения. Прочие дозы описывались дробными или множественными кожными эритемными дозами. Однако вследствие множества биологических факторов, влияющих на реакцию кожи, эта оценка дозы рентгеновских лучей была подвержена у различных исследователей отклонениям вплоть до 200 или 300%. Один и тот же исследователь часто мог получить повторные результаты с 50- или даже 25-процентной точностью.

В 1925 году в США Матшеллер [4], используя обновленные данные о поглощении рентгеновских лучей в стенах и перегородках, рассчитал дробные ПЭД для мест нахождения операторов в различных терапевтических и диагностических клиниках, которые считались тогда хорошо спроектированными и защищенными. В то же время он заметил, что у отдельных людей, работающих на рабочих местах, не проявлялось никаких неприятных последствий при облучении до уровней, которые, согласно расчетам, были порядка одной ПЭД за год. Основываясь на этом, он рекомендовал "толерантную дозу" в размере 1/100 ПЭД в месяц (примерно 1/10 ПЭД в год) в качестве "безопасной" для лиц, работающих с излучениями. Здесь важно отметить, что он основывал свою рекомендацию на отсутствии наблюдаемого эффекта; он использовал *логическое суждение* о том, что если доза в 1 ПЭД в год "не дает эффекта", то доза в 1/10 ПЭД в год тем более должна быть толерантной. Это был первый из многих примеров того, как в отсутствие информации использовалось *логическое суждение*, следующее основному принципу, применяемому в токсикологии.

Совершенно независимо Зиверт провел аналогичную работу в Швеции, сравнив облучение в ряде хорошо защищенных радиологических клиник с облучением от естественной фоновой радиации [5]. Согласно его оценке, чтобы получить кожную эритемную дозу естественной фоновой радиации без учета восстановления, нужно облучаться в течение примерно от 1000 до 10 000 лет. На основе меньшей цифры он *рассудил с технической точки зрения*, что доза в 1/10 кожной эритемной дозы в год была бы приемлемой для облучаемых работников.

Другим исследованием, выполненным независимо, хотя и на год или два позже, была работа Баркляя и Кокса в Соединенном Королевстве [6], которая содержала оценки доз, сделанные для типичных эксплуатационных условий. В данном случае они наблюдали двух людей, дозу облучения которых в течение 6 лет, как они считали, можно было оценить с той же степенью неопределенности, с какой проводились их прочие измерения. Выраженные несколько иначе в сравнении с двумя указанными выше исследованиями, их результаты удалось бы преобразовать в кожную эритемную дозу, и интересно отметить, что, *согласно их суждению*, допустимая доза составляет порядка 1/10 кожной эритемной дозы в год (более подробно см. [19]).

Теперь было бы весьма соблазнительно допустить с учетом этой информации, что указанные три эксперимента, выполненные независимо в трех разных странах и давшие одни и те же однозначные ответы, обеспечивают абсолютную достоверность конечных результатов. Однако единственным общим фактором в этих трех работах, содействовавшим получению авторами одного и того же результата, было не что иное, как *логическое суждение в чистом виде*.

ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ НОРМ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Проблемы, связанные с попытками определить измеряемое значение толерантной дозы, дополнительно осложнились в тот период отсутствием какой бы то ни было согласованной системы величин и единиц для измерения ионизирующей радиации. Непосредственно перед этим рядом исследователей были предприняты различные попытки оценить эритемную дозу в "рентгенах" (т.е. в единицах, которые для разных людей означали разные величины). В 1925 году Мейер и Глассер в США пришли к выводу о том, что величина около 1300 рентгенов (с учетом обратного рассеяния) соответствует количеству радиации, необходимому для того, чтобы вызвать пороговую эритему [7]. В 1927 году Кустнер в Германии с помощью тщательно разработанных вопросников, распространенных примерно среди двенадцати лучших радиологических институтов, пришел к выводу, что доза порядка 550 рентгенов соответствует кожной эритемной дозе при условии измерений в воздухе (без обратного рассеяния) [8]. Оба наблюдателя обращали внимание на множество переменных, влияющих на их измерения.

Величины, сообщенные Кустнеру, были в пределах от 400 до 650 рентгенов, а один наблюдатель сообщил о зафиксированном диапазоне 450-625 рентгенов. Очевидно, что общий результат не отличался большой точностью, но в качестве *суждения* данная Кустнером величина в 550 рентгенов, измеренная в свободном воздухе, была принята повсеместно.

Впервые толерантная дневная доза, выраженная в рентгенах, была предложена НКЗО в начале 1934 года. Она была основана на предложении Матшеллера относительно 1/10 эритемной дозы в год [9]. Величина Кустнера в 550 рентгенов, измеренная в наружном воздухе, была округлена до 600 рентгенов, а число рабочих дней в году было принято равным 250, что дало значение в 0,24 рентгена в день. Но так как значение любой такой численной величины, вероятно, превышает значение основных данных, а ошибки в определении основных данных столь велики, была принята меньшая округленная цифра — 0,1 рентгена в день (в наружном воздухе).

Спустя шесть месяцев МКРЗ проделала аналогичную работу и пришла к величине 0,25 рентгена в день. Эта величина была округлена до меньшей величины 0,2 рентгена в день [10].

Важно отметить, что тогда мы впервые пришли к количественному значению допустимой дозы радиации для облучаемых работников. Следует также отметить, что все значения допустимой дозы для облучаемых работников вплоть до сегодняшнего дня основывались на том или ином исходном значении, предложенном в 1934 году.

Однако в действительности это не так плохо, как кажется, так как со времени установления первой численной нормы в 1934 году среди большого числа людей, которые могли быть облучены такими уровнями радиации, не наблюдалось повреждений или специфических эффектов*. Если исходить из реальных нынешних знаний, то мы, очевидно, чрезмерно защищаем себя за счет больших расходов или жертвуя существенными для человека выгодами. Маловероятно, что мы защищаем себя недостаточно. Следовательно, для нас существенно понять, что любой переход от той

* Это утверждение делается с учетом того факта, что общие результаты исследований Манкузо-Стюарта не являются общепризнанными.

ранней основы к нашей существующей системе численных норм происходил на основе *логических суждений* – вероятно наилучших суждений, которые были возможны при рассмотрении данного вопроса.

Первая защитная норма для внутренних излучателей (радий) была предложена в 1941 году. На основе имеющегося тогда очень ограниченного опыта НКЗО рекомендовала лицам, работающим с радием, не допускать поступление в организм более 1/10 микрограмма радия [11]. И только спустя ряд лет правомерность этой рекомендации была убедительно оценена в работе Эванса [12] и других, которые действительно не обнаружили случаев идентифицируемых радиационных повреждений у лиц, в организмах которых содержалось менее 1/10 микрограмма радия. Это означает, что содержание в организме 1/10 микрограмма радия могло бы привести к дозе на кости порядка 25 бэр/год.

Следующий важный шаг был сделан в 1949 году, когда НКЗО пересмотрел проблему радиационного облучения в целом из-за ожидаемых больших изменений вследствие развития атомной энергетики. В первую очередь ввиду предположения, что значительно больше людей будут облучаться различными путями и различными видами радиации, НКЗО рекомендовал снизить допустимую дозу для облучаемых работников с 0,1 рентгена в день до 0,3 бэр в неделю, т.е. примерно в 2 раза [9, 13].

Здесь необходимо отметить, что это изменение допустимой дозы было сделано в условиях, когда не было отмечено ни одного случая повреждения кого бы то ни было при облучении до прежних уровней, которые могли достигать 0,1 или 0,2 рентгена в день. В основу определения НКЗО допустимой дозы легло определение, цитируемое выше [2].

По мере развития событий происходило дальнейшее снижение уровня допустимой дозы для облучаемых работников до величины, при которой даже в случае незначительного нарушения пределов облучения в промышленности была надежда, что возможные эффекты были бы несущественны.

И вновь это были вопросы *логического суждения*, совершенно лишённые научного или специального медицинского подтверждения.

Это порождает другую проблему, которую одинаково плохо понимают как население, так и техническая общественность. Несмотря на то, что уровни облучения устанавливаются регулирующими органами, промышленность практически устанавливает свои, значительно более низкие административные допустимые уровни, с тем чтобы в любом случае не было риска превысить “официальный уровень”. Эта практика привела к такой ситуации, когда в любой момент и по любой причине может оказываться давление, направленное на снижение допустимых уровней облучения, причем легко может быть показано, “что это не создало бы никаких неудобств для промышленности, так как в ней уже поддерживаются более низкие уровни облучения”.

Следующий важный шаг был сделан в 1956 году, когда в ответ на обеспокоенность по поводу возможных последствий выпадения во всем мире радиоактивных веществ в связи с испытаниями ядерного оружия вначале Британский научно-исследовательский совет [14], а затем Национальная академия наук США [15] обратили внимание на возможные генетические последствия облучения. Вслед за этим Международная комиссия по радиационной защите [16] и Национальный комитет по защите от облучения [17], [18] рекомендовали снизить допустимую дозу на гонады облучаемых

работников до величины 5 бэр/год. И в этом случае не имелось прямых данных о причинении генетического или соматического вреда в результате низких уровней облучения ни для лабораторных млекопитающих, ни для человека.

Первоначальная рекомендация Национальной академии наук в 1956 году основывалась главным образом на некоторых ранних экспериментах с фруктовыми мушками, показавших определенные генетические изменения после облучения большими дозами радиации [15]. Частично эта рекомендация была, очевидно, чрезмерной реакцией на протесты общественности против выпадений радиоактивных веществ. В пределах пятилетнего срока улучшенные эксперименты на животных опровергли исходную основу рекомендаций академии. Однако к этому времени было уже слишком поздно даже обсуждать возврат к нормам, существовавшим до 1956 года, и рекомендации продолжают действовать и в настоящее время. Независимо от технической стороны дела, очень трудно ослабить почти любую защитную норму в политическом плане.

Следует вновь подчеркнуть, что опасность, для защиты от которой и предусмотрены эти тщательно разработанные меры предосторожности, при сегодняшних низких уровнях облучения является чисто гипотетической. Более того, не следует забывать, что величины, используемые до настоящего времени, непосредственно связаны с неясностями в определении кожной эритемной дозы и противоречивыми методами измерений в 20-х годах.

ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ

В развитии норм защиты от радиации был сделан еще один шаг. К концу 50-х годов отмечался рост беспокойства общественности по поводу радиационной опасности и делался большой упор на уменьшение облучения, особенно населения в целом. Следует отметить, что, если облучение, допустимое для отдельных облучаемых работников, составляло 5 бэр/год, то соответствующий дозовый предел для отдельных лиц из населения — прежде всего по генетическим причинам — составлял 1/10 предела для работников, т.е. 0,5 бэр/год [16], [17], [18].

К концу 50-х годов было получено большое количество медико-биологических данных относительно последствий больших доз радиации. Многие из них появились в результате анализа состояния населения Японии, пережившего атомные бомбардировки, и отдаленных последствий радиационной терапии. Это была реальная информация о больших дозах и мощностях доз, на основе которой было обнаружено, что вырисовывается пропорциональная зависимость между величиной облучения и его эффектом.

Совершенно иная ситуация наблюдается в области установления дозовых эффектов в низком диапазоне, скажем, менее 5 рад. Современное состояние наших знаний можно резюмировать очень просто: несмотря на то, что во всем мире были затрачены многие миллионы долларов на проведение экспериментальных работ, и несмотря на многие попытки, предпринимавшиеся на клиническом уровне, никому еще не удалось установить соотношение доза-эффект для человека в этом низком дозовом диапазоне. Напротив, существует огромное количество информации в виде отрицательных результатов, основанной на дозах облучаемых работников и некоторых других

лиц на уровнях до 1-2 рад в год, и, что случается реже, на уровнях до 5, 10 или даже 15 рад в год. Объем такой информации, касающейся большого числа людей, огромен, и с этим надо соответствующим образом считаться, хотя результаты и являются отрицательными. В то же время мы должны быть готовы к ответу на тот аргумент, что причина, по которой мы не можем обнаружить каких-либо прямых или косвенных эффектов, заключается в том, что эти эффекты слишком малы или происходят слишком редко. Иначе говоря, что эффекты скрыты в "шуме" естественных случаев.

Дело может обстоять именно так, но, разумеется, это тоже часть ответа. Если эффекты не могут быть обнаружены ни одним из чрезвычайно уточненных методов, имеющихся в нашем распоряжении в настоящее время, это автоматически означает, что опасность — если она вообще существует — чрезвычайно мала. Таким образом, мы располагаем достаточным временем для изучения и анализа проблемы, не подвергая тем временем значительное число людей серьезному риску.

Однако именно эта невозможность обнаружить какие бы то ни было вредные эффекты для человека, сопровождаемая нежеланием сказать, что этих эффектов просто не существует, и составляет существо дилеммы. Как вообще можно проверить отрицательный результат эмпирически? Это тот самый вопрос, который недостаточно понимается не только широкой общественностью, но и многими лицами, на которых, возможно, возложена ответственность за защиту нашего здоровья и безопасности. В настоящее время единственно возможное решение вопроса должно во многом основываться на *логическом суждении*.

ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДОЗА-ЭФФЕКТ

МКРЗ и НКЗО в течение длительного времени изучали возможность соматических эффектов для населения в результате доз радиации при малых мощностях доз. Разумеется, для этой работы не было надлежащих прямых клинических данных или данных по животным, потому что таковые вообще не существовали [19]. Поэтому был сделан *теоретический* вывод, что если эффект больших доз и больших мощностей доз представляется пропорциональным дозе, то та же самая зависимость может быть распространена на более низкие уровни вплоть до нулевой дозы. Если предположить возможность применения такой зависимости к эффектам малых доз, то мы должны были бы принять положение, что для любой дозы, какой бы малой она ни была, возможен некоторый эффект, также каким бы малым он ни был. Кроме того, вопрос о том, где установить нормы допустимой дозы, был бы исключительно вопросом *логического суждения*. Это именно та ситуация, в которую мы сами вовлекли себя в течение последних трех десятилетий.

В ходе разработки линейной беспороговой модели доза-эффект было много оговорок и толкований. Но если принять линейную беспороговую зависимость как факт, а не как предположение или модель, то, по-видимому, можно было бы вычислить количество людей, которые погибли бы при любом выбранном уровне облучения. Несмотря на то, что принятие определенных допущений не определяет реальности таких расчетов, некоторые продолжают делать их, вводя тем самым в заблуждение общественность и, возможно, самих себя. Это накладывает серьезные обязанности на немногочисленные осведомленные группы или отдельные личности по установле-

нию некоторого рода границы, сколь бы неясной она ни была, между тем, что имеет смысл, и тем, что бессмысленно, в области применения теорий защиты на практике.
Логическое суждение.

ДОПУЩЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ ДОЗА-ЭФФЕКТ

В результате этой ситуации некоторые наши ответственные за защиту от радиации органы постулировали — как основу для обсуждения и для обеспечения чувства пропорции — следующие наиболее консервативные положения:

1. Допущение, что существует линейная зависимость доза-эффект для всех радиационных эффектов при дозах в диапазоне от нескольких сот рад до нулевой дозы,
2. Допущение, что не существует пороговой дозы радиации, выше которой эффект произойдет, а ниже — нет,
3. Допущение, что все дозы, воздействовавшие на орган, полностью аддитивны, независимо от их мощности или от интервалов между ними,
4. Допущение, что восстановление после любых эффектов малых доз радиации не происходит.

Известно, что ни одно из этих допущений не является полностью справедливым. Величина отклонения от них при определенных обстоятельствах и для ограниченного числа ситуаций известна. Одной из наиболее важных областей исследования, лежащих перед нами, является попытка своего рода оценки природы и степени отклонения от этих допущений. Вопрос не в том, существуют ли отклонения, а в том, насколько они велики.

Трудности, связанные с ответом на этот вопрос, возможно, ведут к неизбежности разногласий. К сожалению, в результате выдвинутых недавно аргументов возникла излишняя путаница. Некоторые из этих аргументов были менее чем полезны по разным причинам: модели и допущения в них принимаются как факт, что ведет к сомнительным или неверным выводам; в них игнорируются относящиеся к делу данные; они вытекают из предпосылок и теорий, которые не могут быть проверены, а, следовательно, не могут быть ни доказаны, ни опровергнуты. Такая ситуация никак не облегчает логических суждений (которые *необходимы* в любом случае) и может привести к установлению климата цинизма и недоверия.

ОЦЕНОЧНЫЕ СУЖДЕНИЯ ПО-ПРЕЖНЕМУ НЕОБХОДИМЫ

Здесь была упомянута лишь небольшая часть проблемных областей, с которыми мы сталкиваемся при использовании излучений в медицине и промышленности. Число проблем, несомненно, будет увеличиваться, и их решение частично будет опираться на техническое обнаружение радиационных эффектов для человека, вызванных малыми дозами и малыми мощностями доз. Однако насколько мы можем заглянуть вперед, оно еще больше будет опираться на *логические суждения* и мудрость людей. Оно будет зависеть от моральной позиции в отношении возможного вреда для лиц, работающих с излучениями, с одной стороны, и демонстрируемой безопасности и "лучшей жизни" для кого-то еще — с другой. Оно будет связано с важными экономическими решениями и очень часто — с важными политическими решениями.

Библиография

- [1] Taylor, L.S., The Philosophy Underlying Radiation Protection, Am. J. Roent. Ra. Ther. and Nuc. Med. 77, 914 (1957).
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements. Permissible Dose from External Source of Ionizing Radiation, NCRP Report No. 17 (NBS-HB-59) (1954).
- [3] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Revised – December 1, 1954), British J. Radiol. Supplement No. 6, British Institute of Radiology, London, (1955).
- [4] Mutscheller, A., Physical standards of protection against roentgen ray dangers, Amer. J. Roentgen., 13, 65 (1925).
- [5] Sievert, R., Einige Untersuchungen über Vorrichtungen zum Schutz gegen Roentgenstrahlen, Acta Radiol. 4, 61. (1925).
- [6] Barclay, A.E. and Cox, S., Radiation Risks of the Roentgenologist. Amer. J. Roentgen., 19, 551 (1928).
- [7] Meyer, Wm. and Glasser, O., Erythema Doses in Absolute Units, Radiology, April (1926).
- [8] Kustner, H., Wieviel R.-Einheiten entspricht die HED, Strahlenther. 26, 120 (1927).
- [9] National Council on Radiation Protection and Measurements, Radium Protection, NCRP Report No. 2 (NBS-HB-18) (1935).
- [10] International Recommendations for X-ray and Radium Protection (1934). Radiology 23, 682 (1934).
- [11] National Council on Radiation Protection and Measurements, Safe Handling of Radioactive Luminous Compounds, NCRP Report No. 5 (NBS-HB-27) (1941).
- [12] Evans, R.D., A.T. Keane and M.M. Shanahan. Radiogenic Effects in Man of Long-term Alpha-Irradiation, pp. 431–468 in *Radiobiology of Plutonium*, Ed. by Betsy Stover and W.S.S. Jee, JWW Press, Dept. of Anatomy, University of Utah (1972).
- [13] National Council on Radiation Protection and Measurements, Medical X-Ray Protection up to Two Million Volts, NCRP Report No. 6 (NBS-HB-41) (1949).
- [14] Medical Research Council, The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, Cmd 9780, H.M.S. Office (1956).
- [15] National Academy of Sciences – National Research Council, The Biological Effects of Atomic Radiation – Summary Reports (1956).
- [16] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Adopted September 9, 1958), ICRP Pub. 1, Pergamon Press, London (1959).
- [17] Maximum Permissible Radiation Exposure to Man – A Preliminary Statement of the National Committee on Radiation Protection and Measurements (January 8, 1957), Amer. J. Roentgen., 77, 910 (1957) and Radiology, 68, 260 (1957).
- [18] Maximum Permissible Radiation Exposures to Man (April 15, 1958), Addendum to NCRP Report No. 17, Radiology, 71, 263 (1958).
- [19] Taylor, L.S., Organization for Radiation Protection, The Operations of the ICRP and NCRP, 1928–1974 (In Press).