

## Здоровье от рождения: формирование более устойчивой основы для норм санитарного состояния окружающей среды, начиная с радиации

Арджун Макхиджани, Брайс Смит и Майкл С. Торн<sup>1</sup>



Радиационное облучение внутриутробного плода может привести к повышению риска ракового и других заболеваний. Стандарты по радиационной защите все еще основываются на „среднестатистическом человеке“, гипотетически взрослом мужчине. Фото: ISTOCKPHOTO

За последние полвека в области охраны санитарного состояния окружающей среды были получены хорошие результаты. В том числе, становится все более очевидно, что основной целью в рамках этой проблемы является защита наиболее уязвимых групп. В частности, на передний план выдвинут вопрос о защите детей. Например, в 1997 году президент США Билл Клинтон издал Приказ президента № 13045 «Об охране детей от экологических факторов риска и угрозы безопасности» («Protection of Children From Environmental Health Risks and Safety Risks»). В 2003 году этот указ был утвержден с поправками президентом Бушем.

Большие результаты также достигнуты в радиационной защите. Международная комиссия по радиационной защите или МКРЗ (ICRP, International Commission on Radiological Protection), Управление по защите окружающей среды США (Environmental Protection Agency, EPA) и Комитет по оценке факторов риска от облучения малыми дозами ионизирующего излучения (Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation) Национального научно-исследовательского совета Национальных академий наук США (известный как комитет

BEIR) – все эти организации внесли огромный вклад в формирование коэффициентов доз и факторов риска по возрастным и половым критериям. Однако положения законов в целом не смогли идти в ногу с общим курсом по защите санитарного состояния окружающей среды или с серьезными достижениями в научном понимании рисков радиации.

На самом деле, учитывая накопленные знания в этой области, пробелы в системе регулирования законов все более очевидны. Например, во многих положениях США доза облучения до сих пор рассчитывается на гипотетического «среднестатистического человека», который охарактеризован, как «белый» мужчина двадцати лет, весом около 70 кг. Дети, если они вообще попадают в поле зрения радиационной защиты, до сих пор зачастую отражены на этой картине, как маленькие взрослые. Важнейшим проявлением этой проблемы является тот факт, что модель среднестатистического мужчины встроена в основную компьютерную программу под названием «ResRad», которая используется для оценки будущих рисков от радиоактивности окружающей среды. Кроме того, несмотря на

<sup>1</sup> Доктор Арджун Макхиджани (Arjun Makhijani) является президентом исследовательского Института проблем энергетики и окружающей среды (IEER). Доктор Брайс Смит (Brice Smith) - старший советник IEER, а также старший преподаватель физики Нью-Йоркского университета в Кортленде (SUNY-Cortland). Доктор Майк Торн (Mike Thorne) - независимый консультант и эксперт по радиологической защите и перемещению радионуклидов в окружающей среде. Статья основана на отчете IEER за октябрь 2006 г. «Наука - за беззащитных: установление норм радиационного облучения и комплексного воздействия окружающей среды для защиты людей, наиболее подверженных риску» («Science for the Vulnerable: Setting Radiation and Multiple Exposure Environmental Health Standards to Protect Those Most at Risk»), авторы Арджун Макхиджани, Брайс Смит и Майк Торн. Читайте отчет на сайте: [www.ieer.org/campaign/report.pdf](http://www.ieer.org/campaign/report.pdf). Основные тезисы отчета подготовлены для данной статьи доктором Смитом. Ссылки доступны в отчете.

то что у взрослых людей преобладают риски раковых заболеваний, в других возрастных группах могут сильнее проявляться другие риски. Например, проблемы ранних выкидышей, пороков развития или неврологических воздействий не отражены в рамках действующей законодательной системы. Несмотря на то что необходимо провести еще много научных исследований, временное ужесточение федеральных положений справедливо во многих аспектах, исходя из современного понимания данной проблематики.

Риски, которые мы рассматриваем в статье, связаны с малыми уровнями радиационного облучения от загрязнения окружающей среды. Понятие «малые дозы» облучения определено, как воздействие, которое не имеет детерминированных эффектов, таких как кожная сыпь, потеря волос и т.д. Это воздействие также подразумевает высокие совокупные дозы, полученные за определенный длительный период времени.

Сейчас активно изучается связь между радиацией, генной мутацией и раком. На самом деле эта связь впервые обсуждалась с конца 20-х до начала 30-х годов двадцатого века. С годами усилия радиологической защиты были направлены на изучение рака с точки зрения наиболее серьезных последствий для здоровья.

### **Структура радиологической защиты**

Широко распространено мнение (включая Национальную академию наук США) о том, что лучшей моделью оценки риска раковых заболеваний при малых дозах и их малых мощностях является линейная беспороговая гипотеза (известные сокращения ЛБГ или ЛБПГ). По этой гипотезе любое повышение радиоактивного облучения, каким бы незначительным оно ни было, вызывает соответствующее и пропорциональное повышение риска раковых заболеваний. Эта модель применима ко всем солидным опухолям, включая большинство раковых заболеваний, кроме лейкемии. Хотя беспороговая концепция также применима к лейкемии, однако зависимость риска заболевания от дозы облучения не является линейной, то есть не является прямо пропорциональной радиоактивному облучению.

Радиационная защита подчеркнула необходимость разработки единого подхода, при котором негативные воздействия от различных внешних и внутренних форм облучения объединены в одну структуру. Это позволяет сгруппировать различные виды радиоактивного облучения. Однако такой подход приводит к серьезным упрощениям, и возникает тенденция сосредотачиваться лишь на основном случае, т.е. риске раковых заболеваний. Например, радиационные воздействия на умственные способности человека были признаны лишь в конце 1970-х годов, что является серьезным упущением, учитывая ранние научные наблюдения микроцефалии, редкого порока развития головы с малой величиной черепа и мозга, сделанные в Хиросиме и Нагасаки.

Первые предельные уровни облучения были приняты в США в начале 30-х годов, однако самый серьезный скачок в своем развитии радиационная защита пережила во время реализации атомной программы. В результате основной целью стала защита рабочих ядерного оружейного комплекса. Первая послевоенная корректировка этих норм была выполнена в 1954 году, а первая отдельная норма для населения была установлена в 1959 году. Читайте хронологию норм радиационной защиты в сопроводительной статье [«Нормы радиационной защиты в США: основные факты»](#).

Также на протяжении 50-х годов в радиационную защиту был официально включен вопрос защиты молодых мужчин. Со временем он получил дальнейшее развитие, и в 1975 году МКРЗ опубликовала свои рекомендации под названием «Среднестатистический человек». МКРЗ дала достаточно четкое определение этой модели:

«Среднестатистический человек – это мужчина в возрасте 20-30 лет, весом 70 килограмм (154 фунта), ростом 170 см. (5 футов 7 дюймов), живущий при средней температуре климата от 10 до 20 градусов по Цельсию. Это человек белой расы, типичный житель Западной Европы или Северной Америки, соблюдающий традиции и нравы этих стран».<sup>2</sup>

Последние определения среднего человека были опубликованы, в том числе МКРЗ, которая изложила свои поправки в отчете МКРЗ № 89:

«Отступая от предыдущего определения «среднестатистического человека», новый отчет представляет ряд опорных значений, как для мужчин, так и для женщин по шести различным возрастным категориям: новорожденные, дети 1, 5, 10 и 15 лет и взрослые. При выборе опорных значений Комиссия использовала данные о жителях Западной Европы и Северной Америки, поскольку люди этих стран хорошо изучены с точки зрения анатомии, строения тела и физиологии. На всякий случай проведены сравнения выбранных опорных значений и данных о жителях некоторых стран Азии».<sup>3</sup>

Однако метод «среднестатистического человека» МКРЗ от 1975 года остается приоритетным способом, применяемым в вопросах радиационной защиты, поскольку именно на нем основан федеральный отчет по нормативам, который, в свою очередь, лежит в основе большинства положений Управления по защите окружающей среды, а именно Федерального отчета по нормативам № 11, опубликованного в 1988 году.

Поскольку было обнаружено, что риск развития раковых заболеваний от радиоактивного облучения выше, чем первоначально считали, со временем эти нормативы были ужесточены. К 1990 году ограничение дозы для населения было снижено до 100 миллибэр в год, в пять раз ниже уровня 1959 года. К этому времени Управлением (ЕРА) были также введены более жесткие стандарты для контроля радиоактивного облучения от отдельных ядерных установок в общем и в отдельности, например, облучение через питьевую воду или через воздух. В 1991 году МКРЗ рекомендовала сократить предел дозы для рабочих до 2 бэр в год. Хотя США и пренебрегли рекомендацией, ее приняла Германия и в несколько измененной форме весь Евросоюз.

Проще говоря, за эти годы накоплен большой опыт, а федеральные положения усовершенствованы. Однако ни существующие положения, ни научные исследования до сих пор полностью не сосредоточены на защите самых уязвимых категорий людей. Со стороны науки ситуация уже меняется к лучшему. Например, Управление по охране окружающей среды Великобритании проводит научные исследования по фосфору-32 и фосфору-33, поскольку эти радионуклиды намного сильнее воздействуют на эмбрион/плод, чем на другие возрастные группы. Существует также ряд других фактов, свидетельствующих о первых признаках смены приоритетов в радиационной защите.

## **Женщины**

В 1990 году пятый отчет комитета BEIR (т.е. отчет BEIR V) утвердил линейную беспороговую концепцию для рака внутренних органов и рассчитал, что риск радиационного облучения намного выше оценок, указанных в предыдущих официальных научных работах. В то время полагали, что риск раковых заболеваний с летальным исходом при одинаковой дозе облучения был примерно на 5 % выше у женщин, чем у мужчин. С 1990 года произошли большие изменения. В 1999 году ЕРА опубликовало Федеральный отчет по нормативам № 13 (Federal Guidance Report 13 – ФОН 13), в

---

<sup>2</sup> МКРЗ № 23, стр. 4.

<sup>3</sup> МКРЗ № 89, стр. 5.

котором был сделан вывод о том, что смертельный риск раковых заболеваний от радиационного облучения у женщин на 48 % выше, чем у мужчин. Повышенный риск заболеваний у женщин был подтвержден в 2006 году в седьмом отчете комитета BEIR (BEIR VII), где сделан вывод о том, что он превышает риск заболеваний у мужчин на 37,5 %.

Однако наиболее биологически значимой оценкой риска является не раковая смертность, а частота раковых случаев, поскольку уровень раковой смертности зависит от темпов развития современной медицины. Если рассматривать уровень заболеваемости раком у мужчин и женщин, эти различия становятся еще более явными. В ФОН № 13 Управление подсчитало, что при одинаковом уровне облучения вероятность развития рака у женщин на 58% выше, чем у мужчин. В отчете № 7 Комитета BEIR эта цифра составляет 52%. Смотрите рисунок 1 и таблицу 2 в сопроводительной статье.

По рискам развития раковых заболеваний определенных органов эти различия еще более заметны. Органами, отвечающими за повышенный риск раковых заболеваний у женщин, в отчете ФОН № 13 являются: молочная железа, толстая кишка, легкие, яичники. В отчете BEIR VII самыми уязвимыми органами названы молочная железа, легкие, щитовидная железа и яичники, при этом толстая кишка у женщин признана менее радиочувствительным органом по сравнению с мужчинами. Смотрите таблицу 3 в сопроводительной статье.

Особо следует отметить, что, учитывая всю серьезность рака груди, в отчете BEIR VII были приведены доказательства, подтверждающие, что радиационное облучение может синергетически взаимодействовать с другими факторами риска, вызывая рак груди. Это повышает вероятность того, что такие химические продукты, как полихлоринированные бифенилы и диоксины, которые приводят к нарушению эндокринной системы, могут способствовать большему повышению рисков, связанных с облучением, чем если бы эти риски были вызваны каждым элементом в отдельности.

Несмотря на эти различия, которые подробно описаны в отчете, Управление продолжает усреднять риск для мужчин и женщин при установлении нормативов. Хотя использование средних значений снижает риск для большого количества людей, для отдельного человека оно теряет всякий смысл. На самом деле в методе ЕРА существует скрытая дискриминация женщин.

Если бы для защиты женщин действующие пределы доз были усовершенствованы с помощью оценок ЕРА по риску смертности, эти пределы доз были бы снижены примерно на 18 процентов. Если бы нормы были усовершенствованы и отражали последние оценки заболеваемости раком, опубликованные в отчете BEIR VII, то пределы доз были бы снижены примерно вдвое, по сравнению с действующими нормами.

Что касается рабочих, то защита женщин в рамках действующей системы, но с откорректированными факторами риска, способствовала бы снижению предельного уровня дозы для них с 5 бэр в год до 3-4 бэр. Если следовать этой логике в отношении действующей в Европе нормы в 2 бэра в год, эту норму необходимо было бы сократить до уровня 1,5 бэра в год. Такое снижение доз потребовало бы внести изменения, но это не создало бы больших проблем.

Дополнительные вопросы относительно женского здоровья возникают в ситуации с медицинской радиологией. Например, применение маммографии подразумевает намеренное радиоактивное облучение и таким образом повышает риск ракового заболевания. Однако при этом маммография потенциально повышает шансы на успешное лечение в случае, если рак уже имеется. Вопрос о рисках и преимуществах маммографии выходит за рамки этой статьи (а также отчета, на котором она основана). Однако мы обращаем внимание на то, что профессионалы в области здравоохранения выполняют очень важный долг, рассказывая о рисках и ожидаемых преимуществах проводимой

процедуры для того, чтобы получить на нее согласие от проинформированного пациента, а также сохранять дозы облучения на самом низком уровне.

## Дети

Это не новость, что зачастую дети – наиболее незащитный слой населения перед экологической угрозой. На самом деле важным переломным моментом в истории детского здоровья стало создание Комитета по рискам заболевания лучевой болезнью и эпидемиологии пороков развития (Committee on Radiation Hazards and Epidemiology of Malformations), основанного в 1957 Американской академией педиатрии в результате растущего понимания несоразмерно вредных последствий ядерных испытаний на детей после облучения йодом-131. Помимо этого исторического примера лишь после чернобыльской трагедии 1986 года была широко признана необходимость в четком определении доз облучения для детей. Усилия, предпринятые после этой трагедии, привели к формированию повозрастных коэффициентов преобразования доз при заглатывании и вдыхании.

Анализ рисков для детей осложняет множество факторов. За исключением отдельных способов, например, потребления молока или намеренного употребления соли, дети, как правило, поглощают меньшие дозы радиации, чем взрослые (например, ежедневно потребляемый объем воздуха, количество пищи и воды). С другой стороны, дети могут получить более высокие дозы облучения, нежели взрослые, при одинаковом уровне поглощения. К тому же риск на единицу дозы у детей выше, чем у взрослых. Например, в отчете BEIR VII специалисты рассчитали, что риск развития раковых заболеваний при облучении маленьких детей (от 0 до 5 лет) в 2,6 раза выше у мальчиков, чем такой риск у мужчин в возрасте 25 лет, и в 3 раза выше у девочки, чем у женщины. Кроме того, различия по рискам у мужского и женского пола более явно выражены в раннем детстве. Все это показано на рисунке 2 и в таблице 4 в сопроводительной статье.

Хотя в некоторых случаях эти факторы объединяются, и тогда преобладает риск у взрослых людей, в других случаях наибольшим является риск у детей. Для того чтобы продемонстрировать это, рассмотрим два конкретных примера. Даже учитывая более низкий общий уровень поглощения доз у детей, мы обнаружим, что общий риск заболевания раком щитовидной железы, накопленный в организме девочки за первые пять лет облучения в результате потребления молока с йодом-131, превышает риск этого заболевания, накопленный за всю ее последующую взрослую жизнь, хотя при этом предполагается, что потребляемая пища и вода имеют одинаковый уровень экологического загрязнения в любом возрасте. Во втором примере мы обнаружили, что риск заболевания раком груди, накопленный девочками за первые пять лет радиоактивного облучения в результате потребления питьевой воды, загрязненной стронцием-90, выше, чем риск, накопленный за их дальнейшую взрослую жизнь при одинаковой концентрации стронция-90 в воде.

## Эмбрион / плод

С конца 50-х годов стало известно, что радиоактивное внутриутробное облучение может привести к повышению риска лейкемии и других раковых заболеваний. К тому же ряд других эффектов общего недомогания может быть результатом радиационного внутриутробного облучения. Любая серьезная попытка перенаправить нормы радиационного облучения на защиту самых уязвимых возрастных групп, должна включать подробное обсуждение проблемы эмбриона / плода.

Конечно же, мы осознаем всю щепетильность этого вопроса. Общественный статус этого понятия и даже само определение «эмбрион/плод» являются предметом серьезных

дискуссий. В этой статье мы не будем в них вмешиваться. В отличие от таких проблем, как аборт и контрацепция, имеющие непосредственное отношение к правам женщин, которые порой идут наперекор государству или религии, не желая сохранять беременность, вопросы, которые рассматривает данная научная работа, сосредоточены на ответственности людей за экологию, когда женщина принимает решение забеременеть или сохранить свою беременность.

Риски у эмбриона/внутриутробного плода на ранней стадии развития (от 0 до 14 недель) плохо изучены. Скорее всего, основным риском в первые две недели беременности является угроза выкидыша. Крайне сложно распознать случаи ранних выкидышей, вызванные радиоактивным облучением, в связи с очень высоким процентом самопроизвольных или предположительно самопроизвольных выкидышей на ранних сроках. Исследования точно показывают, что результатом превышения определенных уровней радиации является выкидыш. На сегодняшний день невозможно сказать, существует ли здесь порог или одни женщины оказываются восприимчивее других.

На ранних сроках беременности, когда происходит формирование всех органов плода, особый риск также представляют различные пороки развития. После формирования органов, их дальнейший рост вызывает интенсивное увеличение клеток, уделяя мало времени восстановительным процессам. Это приводит к тому, что определенные органы или системы у эмбриона/плода становятся чувствительными к повреждению в последующие периоды развития. Здесь особое беспокойство могут вызывать системы, которые формируются в течение долгого времени, и могут оставаться уязвимыми в детстве. Например, центральная нервная система, как известно, больше подвержена нарушению в результате радиоактивного облучения, как в утробе матери, так и после рождения, в детском возрасте, поскольку ее развитие продолжается. Потомственные риски также касаются женщин, поскольку их яичники формируются еще во внутриутробном состоянии. К тому же наблюдения животных показывают, что внутриутробное облучение может синергетически взаимодействовать с химическими канцерогенами. Это обстоятельство может стать отдельным фактором риска, учитывая большое количество химикатов, которые, как известно, способны пересекать плаценту.

На сегодняшний день ребенку и эмбриону/плоду уделяется особое внимание со стороны регулирующих органов, но лишь в отношении медицинского и профессионального облучения. Со временем были приняты федеральные положения США, которые установили предельную дозу для эмбриона/плода на весь срок беременности. Она была эквивалентна годовой предельной дозе для обычного человека, которая в 1959 году была установлена на уровне 500 миллибэр. Эта предельная доза вступает в силу только в том случае, если женщина добровольно уведомляет свое начальство о беременности в письменном виде. Если на этот момент доза в 500 миллибэр уже превышена, тогда доза облучения плода за оставшийся срок беременности ограничивается до уровня 50 миллибэр.

Добровольный характер подобного уведомления означает, что если женщина решила прервать свою беременность, то не имеет смысла заявлять о ней. Таким образом, философия закона в том, что развивающийся плод нужно защищать таким же образом, как и других людей, не противоречит решению женщины прервать свою беременность. Действующий способ добровольного уведомления о беременности выступает в защиту прав женщин, а также ограничения доз для эмбриона/плода. Его можно применять до тех пор, пока не будет уделено внимание более важным и сложным вопросам, касающимся этих проблем.

Однако предел удельной дозы в 500 миллибэр на эмбрион/плод уже более пятнадцати лет является устаревшим, поскольку годовой предел дозы облучения для людей, являвшийся ориентиром при эмбриональном облучении, когда этот предел был впервые принят, в 1991 году был снижен Комиссией США по ядерному регулированию

до 100 миллибэр в год.<sup>4</sup> Следовательно, допустимый предел дозы на эмбрион/внутриутробный плод в случае с объявленной беременностью на работе должен быть снижен до 100 миллибэр. Это также совпадало бы с пределом, предложенным Европейским сообществом по атомной энергии, «Евратом» (European Atomic Energy Community, EURATOM) и принятым федеральным законом в Германии.

Тем не менее, в данной структуре существует недостаток с точки зрения того, что эмбрион/плод может содержать значительную дозу радиации еще до того, как женщина объявила о своей беременности. Поскольку радиоактивное облучение может иметь определенные опасные воздействия в первые несколько недель после зачатия, на эту проблему следует обратить внимание. Это ставит вопрос о необходимости устанавливать нормы, которые в достаточной мере защищали бы женщин детородного возраста без необходимости заявлять о своей беременности. Однако это сложная проблема, в особенности из-за того, что она может оказать давление на женщин, работающих в области медицины, то есть там, где облучение персонала может быть очень высоким. (Вопрос защиты сперматозоидов рассматривается в следующем разделе статьи).

Связанная с этим проблема заключается в необходимости направить американскую норму облучения для работающих кормящих женщин на защиту младенцев от радионуклидов, которые могут передаваться им с грудным молоком. Германия уже приняла директиву «Евратома», которая позволяет женщинам, добровольно объявившим о том, что они являются кормящими матерями, заниматься той работой, которая не связана с риском внутреннего заражения радионуклидами. Подобная норма должна быть принята и в США.

### **Мужчины как потенциальные отцы**

Несмотря на ориентир на «среднестатистического человека», регулятивные органы до сих пор не учитывают тот факт, что природа наделила мужчину репродуктивной функцией, хотя и достаточно скромной по сравнению с ролью женщины. Существует несколько доказательств того, что потомство мужчин, облученных примерно во время зачатия, имеет повышенный риск раковых заболеваний. Однако в этой области очень сложно проводить научные исследования, а результаты неоднозначны и во многом сомнительны с точки зрения причинной связи.

Среди наиболее известных научных работ, которые показывают повышение риска заболевания лейкемией среди потомства мужчин, подвергнутых радиоактивному облучению, является научное исследование, проведенное М.Дж. Гарднером (M. J. Gardner) и другими учеными в местечке Селлафилд, где находится ядерное промышленное предприятие Великобритании. Однако в другой работе отмеченный рост риска объясняется небольшим количеством раковых случаев. Еще одна оценка была сделана Севером (Sever) и группой ученых, которые работали по контракту в министерстве энергетики США, для рабочих трех ядерных комплексов США (Хэнфорд, Национальная лаборатория в Айдахо и заводы К-25, Y-12, и X-10, расположенные в ядерном оружейном комплексе Ок-Ридж) и их детей. Это исследование не обнаружило никакой статистически значимой связи между риском развития рака у детей и профессиональным облучением их отцов.

Однако основным ограничением этих исследований является тот факт, что они были направлены на внешнее облучение. Единственный расчет дозы внутреннего облучения Север и группа экспертов применили для трития, и то только там, где имелись данные, из чего следует, что он наверняка был неточным. Условия работы на этих заводах способствовали значительному внутреннему облучению. Лишь только потому, что

---

<sup>4</sup> Это положение опубликовано в Своде федеральных нормативов (CFR), глава 10, пункт 20.1301.

невозможно найти подтверждающих документов, нельзя делать вывод об отсутствии подобного облучения. На самом деле информация о внутреннем облучении на многих ядерных оружейных заводах с первых лет работы, как правило, довольно фрагментарна, поскольку дозиметрический контроль многих рабочих не проводился вообще либо осуществлялся не полностью.

Другая проблема эпидемиологических исследований заключается в том, что данные о внешнем облучении являются, как правило, ненадежными для оценки доз внешнего облучения отдельных органов, например, половых желез. Если внешнее поле облучения является неоднородным, тогда дозиметрические данные могут принести мало пользы для точной оценки облучения половых желез. К тому же, пленочные дозиметры для ионизирующего излучения фиксируют лишь глубокую гамма -дозу. Хотя бета-доза, полученная, к примеру, рабочими, занимающимися переработкой урана, для большинства органов незначительна. Учитывая более слабую проникающую способность бета-частиц, бета-излучение большой энергии способно повлиять на результаты анализов.

Более прямые доказательства радиационных воздействий на сперму были получены в 1975 году учеными Попеску (Popescu) и Ланкраньяном (Lancranjan). Это исследование обнаружило увеличение случаев слабой активности сперматозоидов, их пониженного количества и неправильного формирования спермы у облученных мужчин. Поскольку эта научная работа подразумевала непосредственное исследование спермы, и все выбранные для изучения люди в остальном были здоровы, ее результаты можно считать более надежными, чем вышеописанные эпидемиологические исследования. Научное исследование Попеску и Ланкраньяна показало, что гонадное облучение может нанести еще больше вреда и создать более обширный спектр проблем, чем до сих пор признавали в радиационной защите.

## **Выводы и рекомендации**

Как правило, нормативы по радиационной защите, в том числе нормы, принятые в США, ориентированы в основном на риск раковых заболеваний и не учитывают других рисков. Наши рекомендации относятся к Соединенным Штатам, но большинство из них имеют более широкую область применения.<sup>5</sup> Регулятивная система, к примеру, не отражает заинтересованности проблемой ранних выкидышей и пороков развития. Нет никаких нормативов, которые бы определяли дозы облучения у мужчин, планирующих отцовство. Даже в случае с раковым риском повышение риска у женщин и детей не отражено в достаточной мере в нормах. Нормы радиационной защиты в США для рабочих в целом, а также для женщин, добровольно заявляющих о своей беременности в частности, во многом слабее норм, действующих в Евросоюзе. В отличие от Германии в США нет нормативов, специально разработанных для защиты детей, находящихся на грудном вскармливании.

К тому же риски раковых заболеваний от комплексного облучения радиацией и токсичными химикатами на сегодняшний день не изучаются, как, впрочем, не исследуются и риски нераковых заболеваний, в том числе и те, которые способны усилить возможность «получить» рак. В частности, на регулятивной картине отсутствует изучение повреждения иммунной системы как последствие радиоактивного облучения, в особенности от таких радионуклидов, как стронций-90 и уран, либо в результате комбинированного радиоактивного и химического облучения.

Для начала непосредственным действием, по крайней мере по своему принципу, должна стать замена концепции «среднестатистического человека» системой защиты

---

<sup>5</sup> Некоторые наши рекомендации основаны на более жестких нормах, которые уже вступили в силу на всей или части территории Евросоюза.



людей, наиболее подверженных риску, хотя мы признаем, что выполнить эту задачу на деле может быть очень трудно. Первым делом необходимо усовершенствовать нормативы США, учитывая более высокий риск раковых заболеваний у женщин, и в результате необходимо сразу же снизить действующие пределы доз примерно на одну треть по всем нормам. Далее - допустимая доза облучения на эмбрион/внутриутробный плод на рабочем месте после того, как женщина уведомила о своей беременности, должна быть снижена до 100 миллибэр, а также необходимо создать норматив, который бы охранял младенцев, находящихся на грудном вскармливании.

Для содействия в защите наиболее подверженных риску людей правительственная компьютерная программа «ResRad», которая используется для оценки доз радиоактивного облучения от радиоактивности окружающей среды, должна быть модернизирована и иметь в качестве стандартной функции способность рассчитывать дозы для младенцев и детей. Мы также рекомендуем, чтобы исходный текст программы был общедоступен для того, чтобы его можно было совершенствовать независимо от правительственной деятельности с учетом рисков нераковых заболеваний, а также доз для грудных детей и эмбриона/внутриутробного плода.

Мы признаем, что серьезной проблемой установления более строгих норм защиты остается отсутствие соответствующих знаний, на которые эти нормы должны опираться. Для этого требуется более широкая и интенсивная научно-исследовательская работа. В частности, необходимо, чтобы федеральное правительство инициировало либо усилило научные исследования для лучшего понимания факторов риска от комплексного облучения радиацией и токсичными химикатами. Эти исследования должны опираться на накопленные знания, которые в большей степени стали заслугой матерей, обеспокоенных за здоровье своих детей.

Учитывая всю значимость формирующейся иммунной системы, особое внимание науки должно уделяться таким радионуклидам, как стронций-90, которые, в основном, оказывают негативное воздействие на эту систему. Таким же образом пристального изучения требуют уран, тритий, углерод-14 и радиоактивные изотопы йода, в том числе в тех случаях, когда облучение комбинируется с действием определенных химикатов, например, разрушающих эндокринную систему.

Давно пора отказаться от устаревшего ориентира радиационной защиты на «белого» мужчину весом 70 килограмм. Жизненно важно, чтобы сообщество по радиационной защите не оставляло попыток сконцентрировать силы на экологической защите наиболее незащищенных групп людей, а также следует ускорить вопрос о включении в регулятивную систему современной науки, изучающей риски радиоактивного облучения, женщин, мужчин как потенциальных отцов, детей и эмбрионы/внутриутробные плоды.

## **Факторы риска от трития: аргументы в пользу ужесточения нормативов**

Арджун Макхиджани, Брайс Смит и Майкл Торн<sup>1</sup>

Идея проекта IEER переориентировать нормы радиационной защиты на защиту людей, наиболее подверженных риску, была отчасти продиктована простым постижением эффектов простейшего радионуклида – трития. Тритий – это форма радиоактивного водорода, атомное ядро которого состоит из двух нейтронов. Как правило, у водорода нет нейтронов, тогда как у дейтерия, стабильного изотопа водорода, один нейтрон.

Химическое поведение всех трех изотопов водорода практически одинаково. Поэтому тритий (Т) может замещать водород, образуя тритиевую воду (т.е. НТО или Т<sub>2</sub>О).<sup>2</sup> Распад трития происходит за счет излучения бета-частицы и, таким образом, тритий превращается в стабильный изотоп гелия (He-3). При относительно коротком периоде полураспада, который составляет 12,3 года, тритий является высокорadioактивным изотопом. Например, один грамм трития (приблизительно равный массе четверти чайной ложки соли) в тритиевой воде приведет к загрязнению почти 500 миллиардов галлонов воды, достигая действующей предельной концентрации в питьевой воде, которая составляет 20 000 пикокюри на один литр и которая установлена Управлением по защите окружающей среды (EPA). Одна унция тритиевой воды (НТО) может заразить целый годовой поток реки Саванна, превысив действующую предельную норму в питьевой воде.<sup>3</sup>

Помимо образования тритиевой воды, тритий также способен вытеснять нерадиоактивный водород в других видах химикатов. Тритий, являющийся составной частью связи углерод-третий, сложно удалить, и поэтому он относится к незаменимому органически связанному тритию (ОСТ). Исследования животных показывают, что от 1 до 5 процентов тритиевой воды в организме млекопитающих входит в состав органических молекул.

Из этих наблюдений видно, что тритиевая вода или органически связанный тритий способен проникать в плаценту. Затем этот тритий может проникнуть внутрь эмбриона /внутриутробного плода и облучить быстро делящиеся клетки, тем самым повышая риск возникновения врожденных нарушений, ранних выкидышей и других

---

<sup>1</sup> Доктор Арджун Макхиджани (Arjun Makhijani) является президентом исследовательского Института проблем энергетики и окружающей среды (IEER). Доктор Брайс Смит (Brice Smith) – старший советник IEER, а также старший преподаватель физики Нью-Йоркского университета в Кортленде (SUNY-Cortland). Доктор Майк Торн (Mike Thorne) – независимый консультант и эксперт в области радиологической защиты и перемещения радионуклидов в окружающей среде. Эта статья основана на главе 7 отчета «Наука - за беззащитных: установление норм радиационной защиты и комплексного воздействия окружающей среды для защиты людей, наиболее подверженных риску» («*Science for the Vulnerable: Setting Radiation and Multiple Exposure Environmental Health Standards to Protect Those Most at Risk*»). IEER, 19 октября, 2006 г. Отчет размещен на сайте [www.ieer.org/campaign/report.pdf](http://www.ieer.org/campaign/report.pdf). Глава отчета была написана доктором Макхиджани и резюмирована в этой статье доктором Смитом при участии доктора Макхиджани. Ссылки размещены в отчете.

<sup>2</sup> Тритий также способен соединяться с дейтерием (D) и образовывать DTO. Это очень важно в тех случаях, когда в ядерных реакторах используется тяжелая вода (D<sub>2</sub>O), например, в канадских ядерных реакторах или в американских реакторах по производству плутония в промышленном ядерном комплексе Саванна-Ривер-Сайт (Savannah River Site). Последние уже закрыты.

<sup>3</sup> Учитывая среднюю скорость потока 10 000 кубических футов в секунду (Отчет Макхиджани и Бойд «Ядерные свалки на берегах реки: угроза реке Саванна от радиоактивного загрязнения на производственном комплексе «Саванна-Ривер-Сайт» (CPC)», 2004 г., стр. 18. Размещен на сайте: [www.ieer.org/reports/srs/index.html](http://www.ieer.org/reports/srs/index.html)).

проблем.<sup>4</sup> Поэтому тритий является важным примером для определения необходимой степени изменения норм радиационной защиты в свете появления рисков у тех, кто не входит в категорию взрослых мужчин.

### **Расхождения в положениях**

Научные модели, используемые для оценки опасных для здоровья воздействий от трития, имеют целый ряд серьезных недостатков. Например, в этих моделях предполагается, что тритиевая вода обычно распространяется по всему организму. В результате Управление по защите окружающей среды допускает, что все органы, за исключением отделов желудочно-кишечного тракта, получают одинаковую дозу трития при заданном поглощении. Однако необходимо учитывать, что ткани с высоким содержанием воды могут получить более высокую дозу по сравнению с костными или жировыми тканями. Ткани плода содержат больше воды, чем материнские. В результате тритиевая вода будет содержаться в тканях плода в концентрациях выше средних, что и показывают исследования животных. Более того, если органически связанный тритий проникает в состав ДНК, он, как правило, не облучает всю клетку, а в основном облучает ядро. Следовательно, риск повреждения ДНК и появления опасных эффектов (в том числе раковых и нераковых), значительно выше, чем если бы тритий потратил свою энергию на цитоплазму клетки.

Наконец модели, которые применяют для оценки дозы, полученной эмбрионом за первые недели беременности, имеют серьезные недостатки. Действующие модели предполагают, что доза эмбриона, полученная за первые восемь недель беременности, эквивалентна дозе, полученной стенкой матки. Это предположение вполне справедливо лишь в случае проникновения гамма-лучей. Но оно не подходит для альфаизлучающих радионуклидов, например, урана, и плохо действует в отношении таких радионуклидов, как тритий, который испускает бета-частицы относительно малой энергии.<sup>5</sup> Это происходит потому, что альфа-частицы и бета-частицы малой энергии не перемещаются на большое расстояние и поэтому вред, который они причиняют, носит более локальный характер, чем вред от гамма-лучей.

### **Потенциальный вред от трития**

Проблема в данном случае заключается в том, что бета-частицы малой энергии, аналогичные тем, что испускает тритий, зачастую наносят намного больше вреда, чем на сегодняшний день допускают нормативы. Эффективность нанесения вреда различными видами радиационного облучения учитывается с помощью коэффициента «относительной биологической эффективности» (ОБЭ). Действующие нормы, как правило, допускают, что у гамма-, рентгеновских лучей и всех бета-частиц коэффициент ОБЭ равен одному, то есть нанесенный вред прямо пропорционален количеству энергии излучения, распространяемой по ткани. С другой стороны, альфа-частицы, которые распространяют всю свою энергию на меньшее количество клеток либо только на одну, имеют коэффициент ОБЭ 20. Иными словами, по этим

---

<sup>4</sup> Если не указано иного, формами трития, которые обсуждаются в статье, являются тритиевая вода или ОСТ.

<sup>5</sup> У типичной бета-частицы, испускаемой тритием, в 35 раз меньше энергии, чем у типичной бета-частицы, испускаемой стронцием-90.

нормативам выходит, что альфа-частица наносит в 20 раз больше биологического вреда, чем гамма-луч, который размещает в организме такое же количество энергии.

Как отмечено, малая энергия бета-частицы трития может привести к распространению всей энергии на небольшое расстояние, что может быть особенно вредным, если тритий присутствует в ДНК. В некоторых случаях это мало отличает бета-частицы трития от альфа-частиц. Таким образом, коэффициент ОБЭ трития не должен быть равен одному ни для всех форм трития, ни для всех возрастных групп. Для более подробного изучения этого вопроса, ученые Харрисон (Harrison), Харшид (Khursheed) и Ламберт (Lambert) опубликовали в 2002 году научную работу, где рассматривались предположения, которые используются в действующих моделях. Коэффициенты преобразования доз для различных возрастных групп, рассчитанные в данном отчете, показывают коэффициент ОБЭ выше одного как для тритиевой воды, так и для органически связанного трития (см. таблицу 1).

*Таблица 1: Комплексная относительная биологическая эффективность тритиевой воды и органически связанного трития*

Возрастная группа	Форма трития	Доверительный предел 5%	Среднее значение	Доверительный предел 95%
Взрослый	НТО	1,2	2,3	3,8
	ОСТ	2,3	5,0	11,6
Внутриутробный плод (всасывание организмом матери в период беременности)	НТО	2,1	4,4	8,1
	ОСТ	4,0	9,8	23,1

Примечание: НТО – это тритиевая вода, в которой один атом обычного водорода замещен на атомом трития. ОСТ – это органически связанный тритий. Цифры, указанные в колонках доверительных интервалов, означают, что коэффициенты ОБЭ могли быть меньше указанной цифры, поскольку процент времени, обозначенный с помощью доверительного интервала, был серией одинаковых экспериментов, которые следовало провести. Источник: Оценка в работе ученых Харрисона (Harrison), Харшида (Khursheed) и Ламберта (Lambert) за 2002 год, таблица 8. Комплексные коэффициенты ОБЭ были рассчитаны с помощью деления доз трития, которые показаны в этой работе, на коэффициент преобразования дозы для тритиевой воды из отчета Федерального отчета EPA №11 о нормативах.

Эта научная работа подчеркивает значимость химической формы трития и возраста при облучении в определении вреда, нанесенного тритием. Например, используя средние оценки таблицы, мы обнаружим, что вред, нанесенный плоду органически связанным тритием, более чем в четыре раза превышает вред, нанесенный взрослому человеку тритиевой водой, и почти в десять раз превышает цифры действующих моделей.

### **Влияние органически связанного трития**

Органически связанный тритий представляет более серьезные факторы риска, чем тритиевая вода при одинаковом количестве поглощения трития по двум основным причинам. Во-первых, химическая форма влияет на вероятность проникновения трития в состав ДНК или другие биомолекулы. Поскольку бета-частицы малой энергии трития не распространяются на большие расстояния, то разница в повреждениях, нанесенных тритием, который сконцентрирован в ядре клетки (где находится ДНК), и тем, который находится в цитоплазме, будет велика. Например, органически связанный тритий, попадающий в организм с пищей, более вероятно войдет в состав биомолекул, чем тритий, который проникает в организм с питьевой тритиевой водой.

Второй причиной более опасного влияния ОСТ является то, что по сравнению с тритиевой водой он, как правило, дольше задерживается в организме. Исследования

людей показывают, что половина тритиевой воды выходит из организма каждые 10 дней, при этом удаление половины ОСТ из организма занимает от 21 до 76 дней. Для некоторых молекул с очень медленной скоростью перехода это время может увеличиться до 280-550 дней. Более длительное время удержания ОСТ в организме вызывает особое беспокойство, если тритий проникает в такие ткани, как нейроны (основные клетки нервной системы) или ооциты (незрелые яйцеклетки). Учитывая, что формирование яичников у женщин происходит раз в жизни, воздействия радиации на репродуктивную систему внутриутробного плода женского пола, а также возможное воздействие на детей, матери которых были облучены внутриутробно, могут быть значительными.

Особым примером явного влияния ОСТ является тритиевый тимидин. Эксперименты показывают, что тритиевый тимидин, органическое соединение, которое может быть инкорпорировано в состав ДНК, на определенных стадиях эмбрионального развития у мышей наносит вреда более чем в 1000 раз по сравнению с тритиевой водой при одинаковых концентрациях. Такая огромная разница не может быть примером для всех форм ОСТ, поскольку тимидин – это предшественник ДНК. Однако этот случай демонстрирует крайнюю необходимость в изучении особых химических форм трития, в особенности, органически связанных.

Последней проблемой, касающейся описанных моделей, является замещение в ДНК атома водорода тритием. Поскольку гелий-3 плохо связывается с углеродом, распад этого атома трития создает свободный ион гелия, который отделяется от молекулы. Это может привести к различным эффектам, например, разрушению односторонних ДНК. Также возможны точечные мутации, при которых превращение трития в гелий способно трансформировать один из четырех стандартных блоков ДНК (т.е. цитозин) в другой (тимин). Однако действующие модели предполагают, что прямое повреждение от бета-частиц будет более значительным, чем вред, нанесенный при образовании гелия-3.

### **Нераковые воздействия**

Помимо вопросов, связанных с моделями для оценки раковых рисков, оценки факторов риска от трития, которые ориентированы лишь на раковые заболевания, преуменьшают его реальные воздействия. К повышенным рискам у беременных и эмбриона/плода относятся ранние выкидыши, пороки развития и генетические нарушения. Риски также могут передаваться через много поколений, учитывая, что яичники у женщины формируются еще в утробе.

Необходимо провести еще много дополнительных исследований тритиевых воздействий на здоровье. Например, поскольку мы не располагаем информацией о количестве ранних выкидышей, то на сегодняшний день невозможно дать и количественную оценку этому фактору риска. Далее, модель МКРЗ по дозе облучения на первых неделях беременности не распространяется на дозу трития. К тому же, необходимо изучать эффекты внутриутробного облучения тритием в комбинации с токсинами, например, химикатами, нарушающими эндокринную систему, - также, как изучаются потенциальные неврологические эффекты.

### **Тритий в окружающей среде**

Поскольку в природе тритий встречается в очень небольших концентрациях, использование трития в ядерном оружии, а также его получение на коммерческих атомных электростанциях привело к особым поводам для беспокойства. Например,

река Саванна заражена тритием в основном из-за деятельности, связанной с производством ядерного оружия в промышленном ядерном комплексе Саванна-Ривер-Сайт (Savannah River Site).

К тому же, после обнаружения тритиевых утечек с атомной электростанции в штате Иллинойс, стало понятно, что умышленные выбросы и случайные утечки могут стать более широкой проблемой для коммерческих атомных электростанций, чем было принято считать раньше. Примечательно, что, будучи в самом центре скандала, который произошел летом 2006 года, Комиссия США по ядерному регулированию так до конца и не узнала обо всех источниках проникновения трития в окружающую среду, а также о реальном масштабе этих утечек.

### **Заключение**

В свете недостатков в действующих моделях и разнообразия потенциальных нераковых воздействий на здоровье, необходим, возможно, более высокий защитный уровень от воздействия трития, нежели он существует сегодня. Мы пришли к выводу, что уровень в 400 пикокюри на один литр для поверхностных вод должен рассматриваться, как промежуточный целевой предел дозы для внешних поверхностных вод на всех атомных электростанциях и ядерных комплексах министерства энергетики США. При этом формируется лучшее понимание вредных воздействий трития. Этот уровень в 50 раз ниже, чем действующий предельный уровень для питьевой воды, установленный ЕРА, и соответствует опасному для жизни риску раковых заболеваний с летальным исходом примерно один человек на миллион населения.<sup>6</sup>

Необходимо отметить, что министерство энергетики уже согласилось на предельно допустимую концентрацию трития в поверхностных водах на уровне 500 пикокюри на один литр при очистительных мероприятиях на заводе «Роки Флэтс» (Rocky Flats). Этот уровень соответствует норме трития в поверхностных водах штата Колорадо. Он основан на коэффициенте преобразования дозы для трития в Федеральном отчете № 11 о нормативах (ФОН № 11) ЕРА. Если использовать последний ФОН № 13, то предельным уровнем может быть 400 пикокюри на литр, который принят в штате Калифорния для охраны здоровья людей. Уровни в Колорадо и Калифорнии установлены с применением тезиса один случай на миллион людей опаснейших для жизни рисков раковых заболеваний со смертельным исходом, что является целью очистительных мероприятий по закону «Superfund law», который официально называется «Всеобъемлющий закон об окружающей среде, компенсации и ответственности (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, или CERCLA).

Аргументы в пользу ужесточения предельных доз для трития в качестве превентивной меры еще более убедительны, когда учитывается повышенная ОБЭ трития, его возможные нераковые воздействия, возможный синергизм с токсичными химикатами, а также потенциальные эффекты в результате внутриутробного облучения плода на определенных особенно важных сроках беременности.

---

<sup>6</sup> Рассчитан с помощью коэффициентов преобразования доз на различные возрастные группы, компакт диск отчета FGR 13 (ЕРА 2002 г.), приблизительные варианты потребления воды с учетом возраста, а также средний коэффициент риска раковых заболеваний со смертельным исходом, равный 0,057 раковых заболеваний на один зиверт.

## Комплексные воздействия химикатов и радиационного облучения

Ионизирующее излучение может привести к разрушению клеток ДНК, некоторые из которых могут так и не восстановиться или восстановиться организмом неправильно. Последствиями таких неудачных восстановительных процессов могут стать смерть и мутация клеток. Токсичные химикаты могут также нанести вред ДНК. Как правило, токсины нарушают особые химические соединения и определенные биохимические пути в организме. Помимо повреждения ДНК, воздействия химикатов могут иметь и другие последствия, например, подавление способности иммунной системы распознавать и заменять злокачественные клетки. Таким образом, несмотря на специфический характер повреждения, наносимого отдельными химикатами, большое разнообразие токсинов, облучающих людей, приводит к большему многообразию опасных воздействий химикатов, нежели показывает радиоактивное облучение.

В большинстве случаев основным риском от радиационного облучения является рак. (Читайте статью [о тритии](#), в которой обсуждаются нераковые воздействия). Развитие ракового заболевания – это, как правило, многоэтапный процесс, при котором для проявления заболевания требуется не одна мутация. Эту картину осложняет тот факт, что даже для одного клинически описанного вида ракового заболевания существует множество альтернативных способов превращения одной нормальной клетки в раковую.

Поскольку данное заболевание имеет многостадийный характер, совокупное облучение множеством токсинов, воздействующих на различных стадиях заболевания, таким образом, может нанести еще больше вреда, чем ожидается от индивидуальных воздействий каждого токсина в отдельности. Такой более чем пагубный эффект от облучения множеством токсинов одновременно называется синергизмом или синергетическим эффектом. Например, подавление иммунного надзора химикатом после радиоактивного облучения может привести к такому эффекту. Наоборот, если два химиката воздействуют на несвязанные биохимические пути, тогда облучение одним из них может никак не повлиять на возможность или серьезность неблагоприятных последствий, вызванных другим химикатом.

Неспецифический характер вреда от радиации, а также обыкновенно длительный период между облучением и проявлением связанного с ним ракового заболевания говорит о том, что радиационное облучение играет основную роль на ранних стадиях развития рака. Химикаты, которые также наносят неспецифический вред ДНК, возможно, поведут себя также. Таким образом, радиационное и химическое воздействие можно справедливо считать пагубным. Однако большинство химикатов причиняют определенный вред либо оказывают иной характер воздействий, чем повреждение ДНК. При подобных обстоятельствах легко просматривается и может быть нормой синергетический эффект между ионизирующим излучением и химическими токсинами.

Один пример явного синергетического эффекта радиационного облучения и воздействия токсинов, который получен из эпидемиологических данных о людях, - это взаимодействие радона и курения. Исследования шахтеров урановых рудников показывают, что канцерогенное действие радона может вырасти примерно втрое, если ему содействует табачный дым. Потенциальный масштаб подобного синергетического действия, если также присутствует соотношение внутреннего радона и курения, показывает, что такой синергизм может стать серьезной проблемой здравоохранения.

Другой пример возможного появления синергизма – это внутриутробное облучение и воздействие разрушителей эндокринной системы, например, диэтилстилбестрола (ДЭС) или диоксинов. В таких случаях существует потенциальная возможность синергетического взаимодействия радиации, которая может привести к мутациям, и эндокринных нарушителей, которые меняют среду формирования этих клеток, а также могут способствовать развитию рака. В этих случаях особой проблемой может стать повышенный риск рака молочной железы.

Еще одним примером является тот факт, что, как известно, много различных металлических солей могут вмешиваться в восстановительный процесс ДНК, нарушенный рентгеновскими лучами или ультрафиолетовым излучением. В этом случае ожидается настоящий синергетический эффект радиационного облучения и воздействия металлов или полуметаллов, например, мышьяка, кадмия, ртути и никеля.

Наконец, в некоторых случаях взаимодействие радиотоксичных и химически токсичных эффектов может возникнуть из-за одного вещества. В Научно-исследовательском институте радиобиологии вооруженных сил США была проведена исследовательская работа, в которой эта гипотеза выдвинута из-за урановых воздействий (читайте журнал [«SDA», выпуск 13, номер 2 за июнь 2005 г.](#)).

Резюмируя все вышесказанное, многоступенчатый характер развития раковых заболеваний создает высокую вероятность существования синергетических эффектов радиации и некоторых видов токсинов. Таким образом, при изучении вопроса о формировании норм радиационной защиты следует помнить, что восприимчивость к заболеваниям зависит не только от возраста и пола, но и от воздействия химических токсинов, которые сложными и малопонятными способами взаимодействуют с радиацией.

-----  
Статья основана на главе 6 отчета «Наука - за беззащитных: установление норм радиационного облучения и комплексного воздействия окружающей среды для защиты людей, наиболее подверженных риску» ([«Science for the Vulnerable: Setting Radiation and Multiple Exposure Environmental Health Standards to Protect Those Most at Risk»](#)). IEER, 2006 г. Автор главы Майк Торн. Автор статьи Брайс Смит.



## Нормы радиационной защиты в США: основные факты

### ОФИЦИАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ «СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОГО ЧЕЛОВЕКА»

«Среднестатистический человек – это мужчина в возрасте 20-30 лет, весом 70 килограмм, рост 170 см., который живет в климате при средней температуре 10-20°C. Это человек белой расы, типичный житель Западной Европы или Северной Америки, соблюдающий традиции и нравы этих стран».

Международная комиссия по радиационной защите «Отчет научно-исследовательской группы о среднестатистическом человеке». (Публикация МКРЗ) № 23. Оксфорд, Пергамон Пресс, 1975 г. Принято в октябре 1974 г. Стр. 4. Рекомендован к включению в Отчет № 11 о федеральных нормативах Управления по защите окружающей среды.

**ТАБЛИЦА 1: ХРОНОЛОГИЯ НОРМ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ АМЕРИКИ**

1931-34 гг.	Консультативный комитет США по защите от рентгеновских лучей и радия (предшественник Национального совета по защите и измерению радиационного излучения) принимает «толерантную дозу» для рентгеновских лучей, равную 0,1 рентгена в день.
1940-41 гг.	Консультативный комитет США предлагает снизить толерантную дозу для рентгеновских лучей до уровня 0,02 рентгена в день, но не осуществляет этого.
1942 г.	Металлургическая лаборатория Чикагского университета принимает «максимально допустимую норму облучения», равную 0,1 рентгена в день. Этот норматив становится общим для всего Манхэттенского проекта.
1951 г.	Национальное бюро стандартов сокращает предел внешнего радиационного облучения для всего организма до 0,3 рентгена в неделю.
середина 1950-х гг.	Комиссия по атомной энергии (АЕС) принимает максимальный предел долговременной дозы в 5 бэр в год, рекомендованный Национальным бюро стандартов. Устанавливает дополнительные предельные дозы внутреннего облучения в 15 бэр в год для большинства органов.
1959 г.	Предельная доза для рабочих остается на уровне 5 бэр в год. АЕС также принимает пределы доз для людей, равные одной десятой доз, допустимых для рабочих – 0,5 бэра для внешнего облучения и 1,5 бэра для внутреннего облучения для большинства органов.
конец 1980-х гг.– 1990 г.	Министерство энергетики США (МЭ) принимает общую предельную дозу в 100 миллибэр (0,1 бэра) в год. Предельная доза для рабочих остается 5 бэр в год. Принята новая модель расчета доз внешнего облучения для рабочих, которая называется «переданная эффективная эквивалентная доза облучения».
1991 г.	Международная комиссия по радиационной защите рекомендует сократить предельную дозу для рабочих до уровня 2 бэр в год. МЭ не принимает эту рекомендацию. Комиссия США по ядерному регулированию принимает для общества предельный уровень в 100 миллибэр.

Таблица адаптирована из журнала «SDA», выпуск 6, № 2, за 1997 год. Для источников внешнего облучения единицы измерений в «рентгенах» и «бэрах» являются эквивалентами.

## ОСНОВНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ США ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ

В мире есть много организаций, которые изучают или регулируют вопрос радиационного облучения. Вот несколько основных (относятся к США):

**EPA (U.S. Environmental Protection Agency):** Управление США по защите окружающей среды. EPA издает официальные нормативные документы по радиационной защите, которые называются Федеральные отчеты о нормативах (ФОН), которые предоставляют науке регулятивную санкцию на применение в федеральных положениях (на деле она может быть использована либо нет). ФОН № 13 – самый последний выпуск нормативов Управления, но в федеральных положениях используется ФОН № 11.

**Комитет BEIR (Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (formerly called the Committee on the *B*iological *E*ffects of *I*onizing *R*adiation):** Комитет по оценке факторов риска от облучения малыми дозами ионизирующего излучения (ранее назывался Комитетом по биологическим воздействиям ионизирующего излучения) Национального научно-исследовательского совета Национальной академии наук. Примерно раз в десять лет комитеты включают в список организаций по изучению эффектов ионизирующего излучения. Отчеты Комитета BEIR имеют серьезный вес для организаций, устанавливающих стандарты, например, для EPA. Отчет BEIR VII (за 2006 г.) – последний вариант этой серии отчетов.

**NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements):** Национальный совет по защите и измерению радиационного излучения, научный консультативный орган

**NRC (Nuclear Regulatory Commission):** Комиссия США по ядерному регулированию. Комиссия регулирует работу коммерческих атомных электростанций, которые используют или перерабатывают ядерные материалы, а также наблюдает за лицензированием. Она устанавливает нормы облучения для населения и для рабочих таких предприятий, а также нормы при выведении из эксплуатации коммерческих ядерных установок.

**ТАБЛИЦА 2: РАСЧЕТ УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ И СМЕРТЕЛЬНЫХ СЛУЧАЕВ НА МИЛЛИОН ЧЕЛОВЕКО-БЭР**

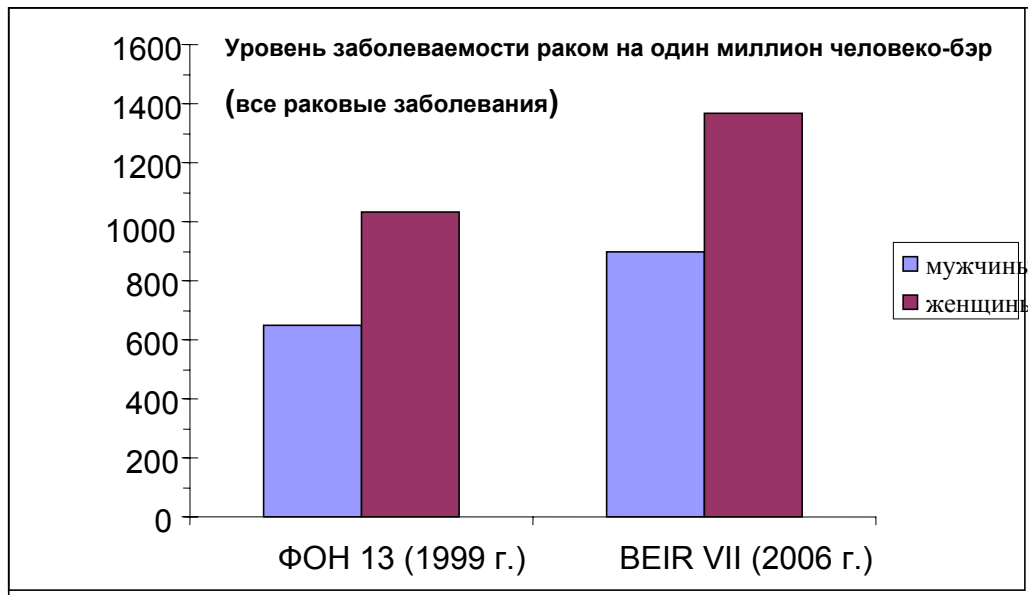
Пожизненная доза, отчет BEIR VII – лучшие оценки

(Расчеты, соответствующие 90% доверительному интервалу указаны в скобках)

	<b>Мужчины, солидный рак</b>	<b>Женщины, солидный рак</b>	<b>Мужчины, лейкемия</b>	<b>Женщины, лейкемия</b>	<b>Все раковые случаи, мужчины</b>	<b>Все раковые случаи, женщины</b>	<b>Коэф., женщины и мужчины</b>
<b>Заболеваемость (все случаи, со смертельным и не смертельным исходом)</b>	800 (400, 1600)	1300 (690, 2500)	100 (30, 300)	70 (20, 250)	900	1370	1,522
<b>Смертельные случаи отдельно</b>	410 (200, 830)	610 (300, 1200)	70 (20, 220)	50 (10, 190)	480	660	1,375

**РИСУНОК 1: РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ НА ЕДИНИЦУ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

Отчет EPA о федеральных нормативах №13 и отчет BEIR VII



Отчет BEIR VII показывает рост риска радиационного облучения для обоих полов, но в обоих отчетах указано, что женщины находятся в группе повышенного риска по сравнению с мужчинами.

**ТАБЛИЦА 3: КОЭФФИЦИЕНТ РИСКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ, ЖЕНЩИНЫ И МУЖЧИНЫ**

По оценкам отчетов ФОН 13 и BEIR VII

	<b>ФОН 13</b>	<b>BEIR VII</b>
<b>Пищевод</b>	2,18	в остаточной радиации
<b>Желудок</b>	1,50	1,26
<b>Толстая кишка<sup>(а)</sup></b>	1,48	0,60
<b>Печень</b>	0,63	0,44
<b>Легкое<sup>(а)</sup></b>	1,55	2,14
<b>Скелет</b>	1,02	в остаточной радиации
<b>Кожа</b>	1,10	в остаточной радиации
<b>Мочевой пузырь</b>	0,46	0,96
<b>Почка</b>	0,61	в остаточной радиации
<b>Щитовидная железа<sup>(а)</sup></b>	2,14	4,76
<b>Остаточная радиация<sup>(б)</sup></b>	1,20	0,93
<b>Лейкемия</b>	0,73	0,72
<b>Всего</b>	<b>1,58</b>	<b>1,52</b>

Примечания: (а) Эти органы в основном отвечают за повышенный риск у женщин по сравнению с мужчинами. В ФОН 13 наиболее важными отдельными органами в порядке значимости являются: молочная железа, толстая кишка, легкое и яичники. В отчете BEIR VII самыми значимыми являются молочная железа, легкое, щитовидная железа и яичники, тогда как толстая кишка на сегодняшний день считается наименее радиочувствительным органом у женщин по сравнению с мужчинами.

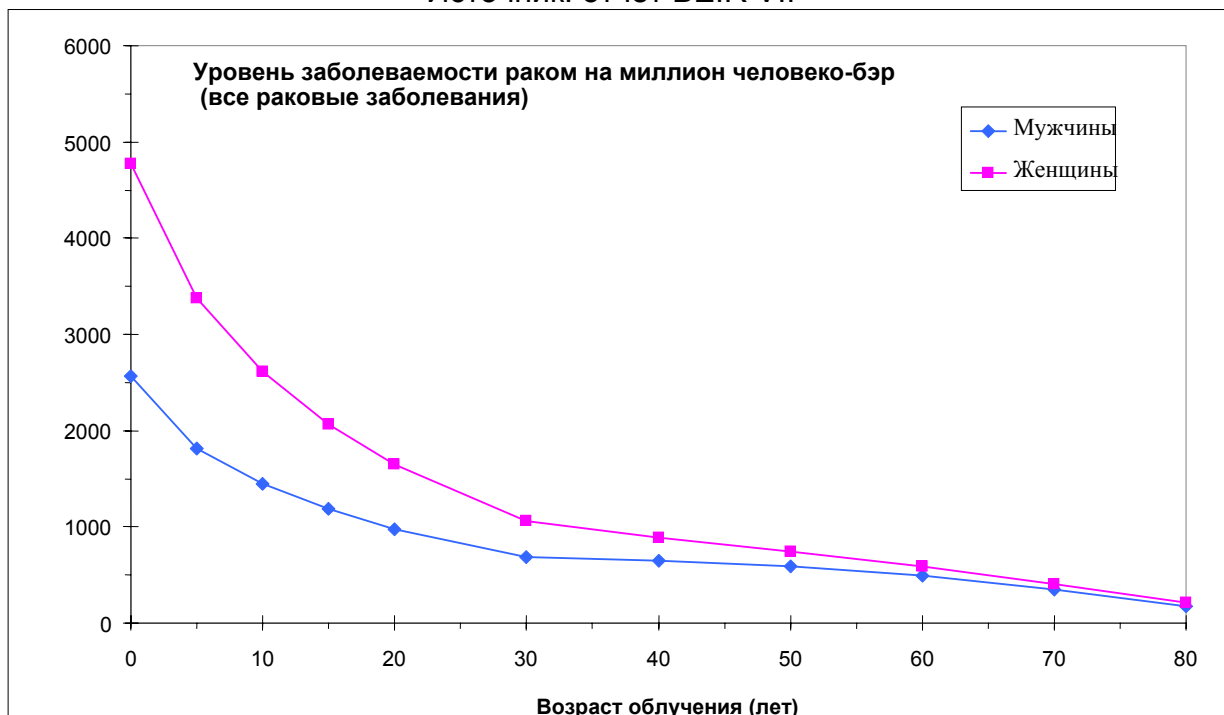
(б) Риск развития рака груди у мужчин в оценках обоих отчетов равен нулю, однако низкий процент мужчин в совокупности все же страдает раком груди и предполагается все-таки небольшой рост риска этого заболевания от радиационного облучения. Коэффициенты по раку молочной железы и раку яичников не показаны, поскольку первый у мужчин встречается редко, а второго вообще не бывает.

**ТАБЛИЦА 4: РАКОВЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ НА МИЛЛИОН ЧЕЛОВЕКО-БЭР ОБЛУЧЕНИЯ**

	Младенец		Ребенок 5 лет		Взрослый 30 лет		Коэффициент, младенец: взрослый 30 лет	
	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.
Толстая кишка	336	220	285	187	125	82	2.69	2.68
Легкие	314	733	261	608	105	242	2.99	3.03
Молочная железа	Данных нет	1171	Данных нет	914	Данных нет	253	Данных нет	4.63
Щитовидная железа	115	634	76	419	9	41	12.78	15.46
Лейкемия	237	185	149	112	84	63	2.82	2.94
Все раковые опухоли органов	2326	4592	1667	3265	602	1002	3.86	4.58
Все раковые заболевания	2563	4777	1816	2277	686	1065	3.74	4.49

**ТАБЛИЦА 2: РИСК УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ НА ЕДИНИЦУ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

Источник: отчет BEIR VII



Изменение риска раковых заболеваний у людей младше 20 лет происходит быстрее у женщин, чем у мужчин, что показывает разницу в рисках у обоих полов. Облучение происходит в указанной возрастной группе; риск в течение последующей жизни остается после этого возраста.

Таблицы и диаграммы из отчета «Наука - за беззащитных: установление норм радиационного облучения и комплексного воздействия окружающей среды для защиты людей, наиболее подверженных риску» («*Science for the Vulnerable: Setting Radiation and Multiple Exposure Environmental Health Standards to Protect Those Most at Risk*») (IEER, 2006 г.), сайт: [www.ieer.org/campaign/report.pdf](http://www.ieer.org/campaign/report.pdf). Источники по данным таблиц и диаграмм: отчет BEIR VII (2006 г.) и отчет о федеральных нормативах EPA № 13 (1999 г.). Более подробную информацию читайте в отчете «*Science for the Vulnerable*» («*Наука - за беззащитных*»).

## **В прошлых выпусках журнала «Энергетика и безопасность» «Радиационная защита и здоровье»**

**Готовность наносить вред**

#34 (2006)

<http://www.ieer.org/ensec/no-34/no34russ/>

**Опасное воздействие на кости: предельно допустимые уровни загрязнения плутонием в питьевой воде**

#33 (2005)

<http://www.ieer.org/ensec/no-33/no33russ/>

**Всплывшая картина рисков для здоровья от урана**

#32 (2005)

<http://www.ieer.org/ensec/no-32/no32russ/>

**Стандарты очистки для будущих поколений**

#21 (2002)

<http://www.ieer.org/ensec/no-21/no21russ/>

**Забывтое облучение: дозы облучения рабочих на трех перерабатывающих заводах**

#15 (2000)

<http://www.ieer.org/ensec/no-15/no15russ/>

**Дозы для рабочих**

#14 (2000)

<http://www.ieer.org/ensec/no-14/no14russ/>

**Риск для здоровья от ионизирующей радиации**

#4 (1997)

<http://www.ieer.org/ensec/no-4/no4russ/>