

## **ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ БОЕПРИПАСОВ С ОБЕДНЕННЫМ УРАНОМ, ПРИМЕНЯВШИХСЯ В ОПЕРАЦИИ СОЮЗНЫХ СИЛ**

*Теодор Е. Лиолиос*

Недавний конфликт в Косово породил озабоченность по поводу радиологической и токсической опасности, вызванной утверждаемым наличием обедненного урана (ОУ) в боеприпасах НАТО. В настоящей работе для оценки опасности для Югославии и соседних с нею стран предполагались сценарии с наихудшими вариантами. Было показано, что опасность для соседних стран пренебрежимо мала, а для самой Югославии приводятся доказательства, что любое долговременное повышение общей смертности от раковых заболеваний будет таким низким, что оно должно остаться незамеченным. Локальные радиоактивные загрязнения (связанные, например, с осколками боеприпасов с ОУ, или с оставленными на поле боя танками, укрепленными или загрязненными ОУ) представляют собой послевоенную опасность, которая в данной статье не рассматривается.

Автор работает на факультете теоретической физики университета в Салониках (Греция) и в Эллинском военном колледже (Греция).

### **Введение**

В тот момент, когда был подготовлен первый рукописный вариант данной статьи, Операция союзных сил (ОСС) в Югославии проводилась уже в течение нескольких недель, и в ней использовались сложные системы оружия, способные приводить к радиоактивному загрязнению. В течение последних лет в оружейных лабораториях были предприняты значительные усилия по использованию обедненного урана (ОУ) в обычных вооружениях для увеличения их проникающей способности или для упрочнения броневых плит (в танках, артиллерии и т.п.). Обедненный уран использовался в целом ряде систем броневой противотанковой защиты, таких, как устанавливаемые на борту американских реактивных самолетов А-10 «Уортхог», вертолетов «Апач» и танков М-1 «Абрамс» и «Брэдли».

Во время войны в Персидском заливе США и союзные силы выстрелили снаряды с примерно 315 тоннами обедненного урана<sup>1</sup>. Во время Косовского конфликта государственные средства массовой информации Югославии упоминали о «радиоактивных бомбах», сбрасываемых НАТО. Без сомнения, такие сообщения относились к боеприпасам, в состав которых входил обедненный уран (ОУ). Его способность к самозаострению при проникновении в броню была главной причиной, по которой было оставлено использование вольфрама, который при соударении стремится принять грибообразную форму.

Высокие температуры, вызванные детонацией взрывчатого вещества (ВВ) в боеприпасе или трение между снарядом и мишенью (броней, бетоном, и т.д.) приводят к образованию оксидов урана, которые наряду с мелкими фрагментами боеприпаса могут представлять потенциальную радиологическую опасность для живых существ. Однако, ни в одном из опубликованных результатов измерений не было показано увеличения радиоактивности по сравнению с естественным фоном ни в Югославии, ни в Греции. В случае Югославии для обнаружения загрязнения и доступа к нему следует рассчитывать только на местную научную общественность.

Поскольку сербы, и, возможно, официальные представители НАТО, ввели строгую цензуру на все виды информации, международная научная общественность должна предпринять независимые попытки оценить последствия использования ОУ, которое, как утверждалось, происходило на Балканах. До тех пор, пока загрязнение не будет обнаружено при помощи какого-либо детектора, единственными доступными средствами являются теоретические предсказания опасности при помощи компьютерного моделирования. При использовании наихудших вариантов сценариев можно будет провести начальную оценку критического состояния или планирование анализа безопасности. Хотя точные данные о характеристиках

и составе подобных вооружений засекречены, в наихудшем варианте сценария можно использовать доступные несекретные данные, которые вполне позволяют оценить величину опасности и произвести соответствующие действия по планированию критических состояний и предотвращению их последствий. В настоящей работе использовалась весьма надежная компьютерная программа, позволяющая моделировать взрывы, воздействующие на ядерные материалы. Программа «ХОТСПОТ»<sup>2</sup> была создана С.Г. Хоманном из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса. Она представляет собой весьма эффективную модель гауссовского выброса, подходящую для оценки радиационной опасности как на малых, так и на больших расстояниях от источника. Кроме того, для предсказания среднего долговременного количества смертных случаев от рака, вызванных вдыханием ОУ, была использована известная модель клина<sup>3</sup>. Основная информация о фундаментальных радиологических свойствах и составе оружия представлена на протяжении всего доклада. Это важно, поскольку представляемые здесь результаты, как ожидается, будут интересны не только для экспертов.

## ОБЗОР ДАННЫХ ОБ ОРУЖИИ НАТО, ИСПОЛЬЗОВАННОМ В ОСС

Детальный анализ вооружений, использованных НАТО против Сербии<sup>4</sup>, показывает, что некоторые из них специально предназначены для поражения прочных целей. Несмотря на то, что точная информация о таких боеприпасах секретна, имеются некоторые указания на наличие ОУ в составе некоторых из этих боеприпасов.

**Ракета «Томагавк».** Всепогодные подводные лодки и корабли могут запускать ракеты на наземные цели. Она используется для поражения прочных неподвижных целей, что объясняет, почему ракета должна обладать высокой проникающей способностью (что делает ее возможным подозреваемым объектом с ОУ, хотя ОУ не является единственно возможным средством увеличения проникаемости). Во время войны в Персидском заливе было запущено 288 ракет (второго поколения); считают, что для поражения целей в Сербии и Косово было использовано несколько сотен ракет (третьего поколения и, возможно, несколько экспериментальных ракет четвертого поколения). Ракета несет либо одиночную обычную боеголовку, либо несколько боеприпасов. Модель БЖМ-109 весит 1192 кг, имеет длину 5,56 м и диаметр 51,8 см (без ускорителя). Грубая оценка массы ее фюзеляжа составляет 400 кг<sup>5</sup>. К той же категории относится крылатая ракета воздушного базирования ВВС США АЛСМ. Были разработаны варианты АЛСМ, несущие ядерные боеголовки, но АЛСМ, использовавшиеся в войне в Персидском заливе, и, предположительно, в Югославии, были снаряжены исключительно обычными боеприпасами. В сценарии с наихудшим вариантом крылатые ракеты следует рассматривать как носители ОУ, *хотя надо отметить, что не имеется никакой доступной открытой информации, которая поддерживала бы такую гипотезу.*

**БЛУ-107 Дюрандаль.** Антиаэродромная бомба Дюрандаль была разработана французской компанией МАТРА специально для задачи разрушения взлетно-посадочных полос. После того, как сбрасываемая на малой высоте с парашютным торможением бомба примет ориентацию носом вниз, запускается ракетный ускоритель для проникновения под покрытие взлетно-посадочной полосы, и задержанный взрыв разрушает участок полосы. Она может пробить бетонное покрытие толщиной в 40 см и образовать воронку площадью до 200 квадратных метров, причиняющую более серьезные повреждения, устранить которые сложнее, чем при использовании обычных бомб.

**БЛУ-109/Б.** Изделие БЛУ-109/Б (И-2000) является улучшенной бомбой класса в 2000 фунтов, разработанной как пенетратор без передней трубки взрывателя. У нее сравнительно тонкая конфигурация, а ее корпус значительно прочнее, чем у стандартной бомбы МК-84. Корпус представляет собой сплошную отливку из высококачественной стали толщиной в 2,54 см. В хвосте обычно устанавливается электромеханический взрыватель ФМУ-143. И бомбе весом 870 кг размещается фугасная боеголовка с зарядом ВВ (тритонал) весом 250 кг.

**Управляемая бомба Блок-28 (ГБУ-28).** Управляемая бомба Блок-28 (ГБУ-28) – это специальное оружие, разработанное для поражения усиленных командных центров, расположенных глубоко под землей. ГБУ-28 представляет собой обычный боеприпас с лазерным наведением класса 5000 фунтов, в котором используется проникающая боеголовка весом

2000 кг. Бомбы представляют собой модифицированные стволы армейской артиллерии весом 2100 кг, в которых содержится 290 кг взрывчатого вещества.

**АГМ-114 «Хеллфайер 2».** Ракета «Хеллфайер 2» с лазерным наведением используется как главная система оружия вертолетов Армии США АХ-64 «Апач» и морской пехоты США АХ-1В «Суперкобра». В качестве бронебойных боеприпасов в ракете АГМ-114 используется боеголовка с коническим кумулятивным зарядом с медной конической оболочкой, которая формирует струю, обеспечивающую пробивание брони. Эта бронебойная противотанковая боеголовка с взрывчатым веществом обладает высокой эффективностью против различных видов брони, включая накладную и реактивную. Действительные характеристики по проникающей способности засекречены.

**Боеприпасы ПГУ-14/Б АПИ.** Бронебойный зажигательный снаряд представляет собой легкий корпус, в котором содержится подкалиберный пенетратор высокой плотности из обедненного урана (ОУ). В дополнение к своей проникающей способности ОУ является естественным пирофорным материалом, который усиливает зажигательный эффект. Он используется в системе АН/ГАУ-8 «Эвенджер» калибра 30 мм (семиствольная пушка Гэтлинга калибра 30 мм, устанавливаемая только на реактивном штурмовике А-10, используемая в основном для воздушных атак наземных неукрепленных целей и танков), а также в автоматической пушке М230, устанавливаемой на вертолете «Апач».

**Гладкоствольная пушка М256 калибра 120 мм.** Это основное оружие боевого танка М1А1. Основным бронебойным боеприпасом для этого орудия является бронепробивающий снаряд с хвостовым стабилизатором (АПДС-ФС), который представляет собой пенетратор из обедненного урана. Силы НАТО не использовали в Югославии танки, и поэтому данный боеприпас в статье не изучается.

В нашем исследовании мы сконцентрируемся на моделировании ракет «Томагавк», бомб БЛУ-109 и боеприпасов АПИ, не только потому, что они хорошо представляют наш наихудший вариант сценария, но и потому, что имеющаяся несекретная информация удовлетворяет нашему подходу к оценке опасности. Отметим, что кассетная версия «Томагавка», по-видимому, не обладает повышенной проникающей способностью, и поэтому в наших моделях будут анализироваться варианты с одиночной боеголовкой.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОУ

Обедненный уран<sup>6</sup> - это отходы процессов преобразования урановой руды (в металлической форме), и его радиоактивность составляет около 60 процентов от природного урана. В чистом виде уран, радиоактивный элемент, является металлом серебристо-белого цвета. Это тяжелый металл, плотность которого примерно в два раза больше, чем у свинца (19 г/см<sup>3</sup> против 11,4 г/см<sup>3</sup>). В среднем каждый из нас ежедневно принимает вовнутрь по 1,9 мкг (0,65 пикокюри) урана с водой и пищей, и каждый день вдыхает его в незначительных количествах. В природе уран состоит из трех изотопов (у каждого из которых имеется своя схема распада с испусканием ионизирующего альфа-, бета- и гамма-излучения в определенной комбинации) в следующем отношении:

**Состав природного урана:** U-234 (0,0054%); U-235 (0,71%); U-238 (99,3%)

В процессе газовой диффузии в форме UF<sub>6</sub> образуются две фракции, одна из которых обогащена U-235, а другая – обеднена им. Обогащенная фракция впоследствии перерабатывается в уран оружейного качества (УОК), а обедненная фракция химически перерабатывается в металлический уран и сплавы, которые могут быть использованы производителями оружия для изготовления боеприпасов или броневых панелей. Фактически в обедненном уране содержится небольшая доля U-234 и U-235, которые не были полностью удалены в процессе обогащения. Составы продукта и отходов процесса обогащения таковы<sup>7</sup>:

**Состав урана оружейного качества:** U-234 (1%); U-235 (93,5%); U-238 (5,5%)

**Состав обедненного урана:** U-235 (0,2%); U-238 (99,8%)

Оставшийся после обогащения обедненный уран может быть использован как оболочка для компоненты синтеза в термоядерном оружии. Эта оболочка предотвращает выход теплового излучения из топлива для термоядерного синтеза, увеличивая интенсивность его горения. Кроме того, быстрые нейтроны от реакций синтеза (2,45 и 14,1 МэВ) вызывают деление в оболочке из ОУ. Эти дополнительные реакции обеспечивают половину энергии взрыва в ядерном оружии типа «деление-синтез-деление»<sup>8</sup>.

Самая важная составляющая ОУ – это U-238, излучающий альфа-частицы с периодом полураспада  $4,5 \cdot 10^9$  лет и удельной активностью  $3,4 \cdot 10^{-7}$  кюри/г (изотоп U-235 обладает удельной активностью  $2,2 \cdot 10^{-6}$  кюри/г). Общая удельная активность ОУ равна  $4,76 \cdot 10^{-7}$  кюри/г<sup>9</sup>. У него имеется два короткоживущих дочерних изотопа: Th-234 с периодом полураспада 24,1 дня и Pa-234 с периодом полураспада 1,17 минуты, которые являются источниками бета- и слабого гамма-излучения. Из-за непрерывности процесса ядерного распада в ОУ всегда присутствуют очень малые количества этих дочерних ядер. С другой стороны, U-235 с периодом полураспада  $7 \cdot 10^8$  лет распадается в Pa-231 (период полураспада 32500 лет), излучающий альфа-, бета- и гамма-частицы. Цепочки U-238 и U-235 продолжают продолжаться последовательностью долгоживущих изотопов и заканчиваются на стабильных нерадиоактивных изотопах свинца Pb-206 и Pb-207. Отметим, что независимо от размера (крупные фрагменты или мелкие частицы) ОУ подвержен различным уровням солюбилизации – он растворяется в жидкостях тела, которые действуют как растворители. Его основными токсическими эффектами являются некроз клеток и поражение почек. Американская конференция правительственных индустриальных гигиенистов (АКПИГ) установила предельно допустимую концентрацию (ПДК)<sup>10</sup> в  $0,2 \text{ мг/м}^3$  (как для растворимых, так и для нерастворимых соединений). ПДК базируются на принципе существования порога, ниже которого не имеется никакого вредного влияния на здоровье, и они называются взвешенными по времени средними значениями, поскольку они усредняются по 8-часовым сменам 40-часовой рабочей недели на протяжении всего времени работы. Хотя ПДК были определены для промышленных условий, они могут служить также разумной оценкой опасности для поля боя или для планирования ликвидации последствий.

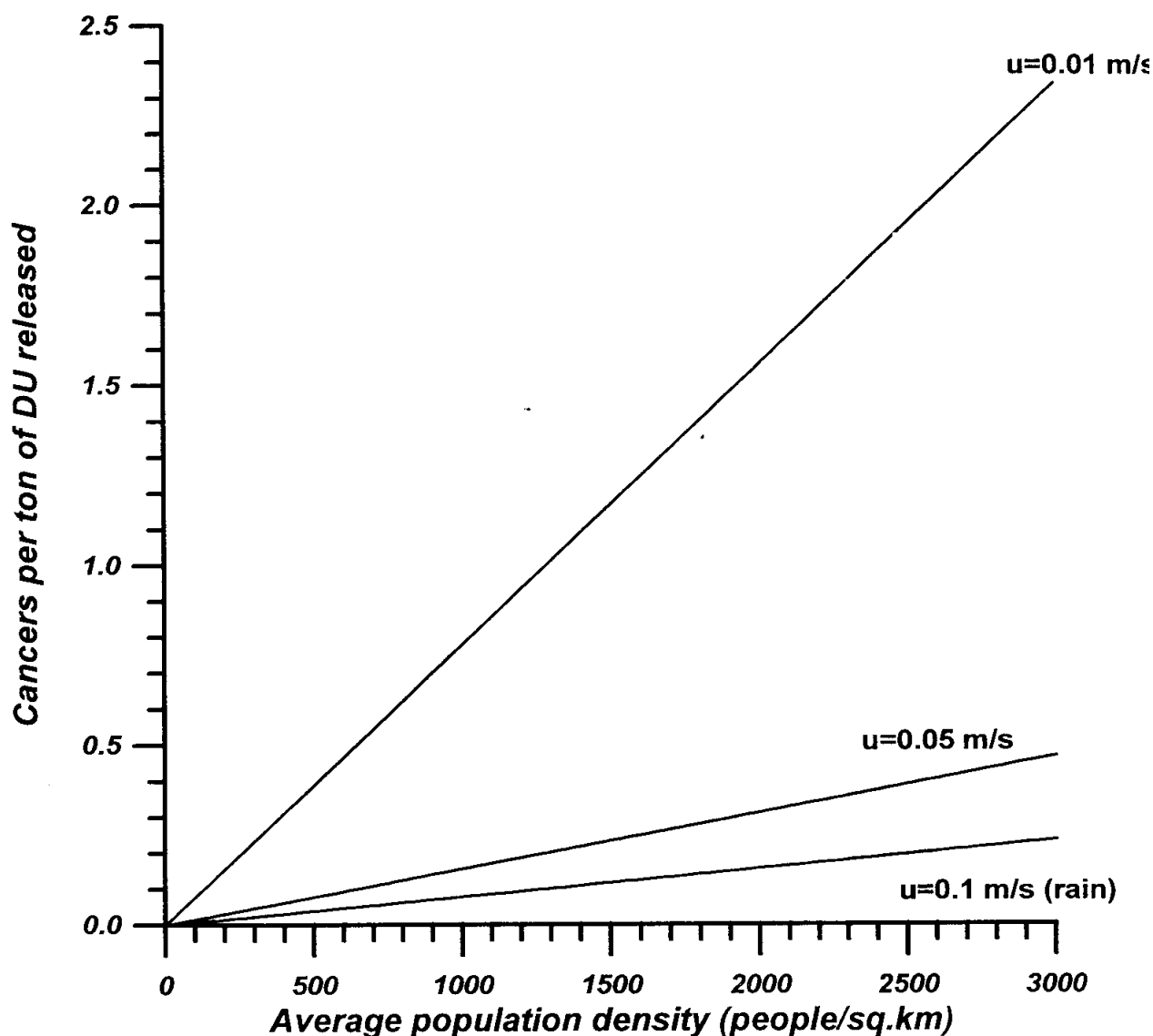
**Опасность рака от ОУ.** ОУ радиоактивен и поэтому является канцерогеном. Основная опасность от экспозиции аэрозолей ОУ связана с повышением вероятности рака легких и других органов, в которые переносятся окислы ОУ. Хотя общее непосредственное воздействие на здоровье в терминах точных доз для конкретных лиц рассчитать трудно, для расчета средней общей долговременной дозы в человеко-бэрах можно опираться на «модель клина»<sup>11</sup>. Согласно этой модели, общее количество вдыхаемого ОУ (I) в результате данного выброса равно  $I = Mbr\mu^{-1}$ , где M – общее количество выброшенного ОУ, b – скорость вдыхания<sup>12</sup>,  $\rho$  – средняя плотность населения и  $u$  – скорость выделения. Если мы предположим, что риск линейно зависит от дозы, то мы можем совместить принятое значение эффективного дозового эквивалента вдыхаемого урана-238<sup>13</sup> ( $1,2 \cdot 10^8$  бэр/кюри) с фактором риска МКРЗ ( $5 \cdot 10^{-4}$  раковых заболеваний на бэр)<sup>14</sup> для оценки опасности рака от вдыхания ОУ по отношению к плотности населения и скорости выделения. Результаты показаны на рис. 1.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АТАК

**Предсказания по модели клина.** В настоящей работе мы ограничимся обсуждением обычного использования ОУ, если бы такое произошло в Югославии. Здравый смысл указывает, что в большинстве атак на индустриальные объекты, мосты и правительственные здания требуются снаряды с повышенной проникающей способностью, и по этой причине в некоторых случаях может применяться ОУ. То же самое может возникать в случаях противотанковых вооружений, антирадарных бомб и боеприпасов для повреждения взлетно-посадочных полос аэродромов. Чаще всего упоминалась ракета «Томагавк», широко использовавшаяся силами НАТО.

В соответствии с наилучшим вариантом нашего сценария мы примем, что боеголовка кинетической энергии ракеты «Томагавк» содержит 400 кг ОУ, снова подчеркнув, что доказательств такого предположения не имеется. (Примечание редактора: рецензенты данной статьи сильно сомневаются, что в ракете «Томагавк» применяется ОУ; однако, мы оставили здесь такое предположение, на том основании, что автор использует его в самом худшем сценарии для оценки основного пункта – опасности для Греции). В таком

случае мы имеем 0,192 кюри на ракету. После удара лишь небольшая часть ОУ переходит во вдыхаемую фракцию, определяемую как фракцию высвободившегося материала, ассоциированную с медианным аэродинамическим диаметром активности (АМАД) в 1 микрон. Стандартные множители преобразования внутренней дозиметрии МКРЗ-30<sup>15</sup> также определены для АМАД, равного 1 микрону. Во время взрыва температура повышается до 5000 °С<sup>16</sup>, что превышает температуру кипения урана (4700 °С). При такой температуре будет образовано большое количество аэрозоля ОУ в форме окислов урана, которые могут найти свой путь в респираторный тракт.



**Рисунок 1.** Предсказания опасности раковых заболеваний по модели клина для различных скоростей выделения при нормальной скорости вдыхания.

Предыдущий анализ по модели клина может быть использован для предсказания максимальной смертности от рака на одну ракету. В предположении атаки на густонаселенный городской район с плотностью населения 3000 км<sup>2</sup>, мы получаем примерно один смертный случай на одну ракету «Томагавк». Это представляет собой общую долговременную оценку летальности в расчете на одну ракету в предположении, что все доставляемое ОУ

становится вдыхаемым, что, естественно, является наихудшим сценарием, показывающим максимальный потенциал «Томагавка» как причины рака. (Отметим, что в средствах массовой информации сообщалось о нескольких сотнях таких ракет, запущенных в сторону Югославии во время операции союзных сил.)

**Предсказания по гауссовской модели.** Используемая в программе «ХОТСПОТ» доля вдыхаемой фракции при взрыве урана, равная 20%, является реалистичной величиной для оценки непосредственного риска, в особенности, для малых расстояний. В таком случае предполагается, что каждому «Томагавку» соответствует доза вдыхаемой радиоактивности, равная 38 мкюри. Чтобы представить себе величину такой активности, можно отметить, что типичное количество радиоактивного материала, вводимое пациенту при анализе щитовидной железы, соответствует 10 мкюри, или в 3800 раз меньше. С другой стороны, активность материала, выброшенного при крупномасштабной аварии реактора, составляет  $10^8$  кюри<sup>17</sup>, или в  $26 \cdot 10^8$  раз больше. Невдыхаемая фракция, состоящая из осколков, разбросанных вблизи точки взрыва, и частиц, размеры которых значительно больше 1 микрона, в дальнейшем учитываться не будет, хотя такие частицы крайне токсичны и они, несомненно, будут локализованы вблизи взрыва и загрязнят его окрестности. Мы не будем обсуждать также усиление летальности вследствие открытых ран или травм в результате спасательных операций.

Очевидно, что при взрыве распределение радиоактивного ОУ будет зависеть от таких факторов, как скорость ветра, количество взрывчатого вещества, скорости выпадения и т.д., что в конечном счете понижает летальность ракеты.

В модели для нашего исследования предполагается, что при одиночном взрыве боеголовки «Томагавка» подрывается 400 кг ОУ с детонацией 50 кг ВВ. Доля выброса составляет 20% (это доля вещества боеголовки, которая доступна для вдыхания после взрыва<sup>18</sup>), а скорость ветра равна 8 м/с. Взрыв считается ночным (класс стабильности Д), когда скорость выпадения равна 1 см/с. Отметим, что рассчитанная эффективная высота облака хорошо согласуется с экспериментальными данными для детонаций сравнимой мощности<sup>19</sup>. Расчеты по программе «ХОТСПОТ» дают значения дозового эквивалента на 50 лет (для вдыхания, поскольку свечение грунта пренебрежимо мало по сравнению с эффектами выброса) и выпадение радиоактивности на грунт на различных расстояниях (см. рис. 2 и 3 и табл. 1).

**Таблица 1**

Расстояние (км)	50-летний дозовый эквивалент (мбэр)	Выпадение на грунт (пикокюри/м <sup>2</sup> )
0,1	4,8	38
0,2	3,9	31
0,5	2,6	20
1	1,7	13
2	1,0	7,8
5	0,5	3,5
10	0,26	1,7
20	0,13	0,71
50	0,046	0,18
75	0,029	0,09
100	0,021	0,06

Если принять во внимание действующие стандарты по радиационной защите<sup>20</sup>:

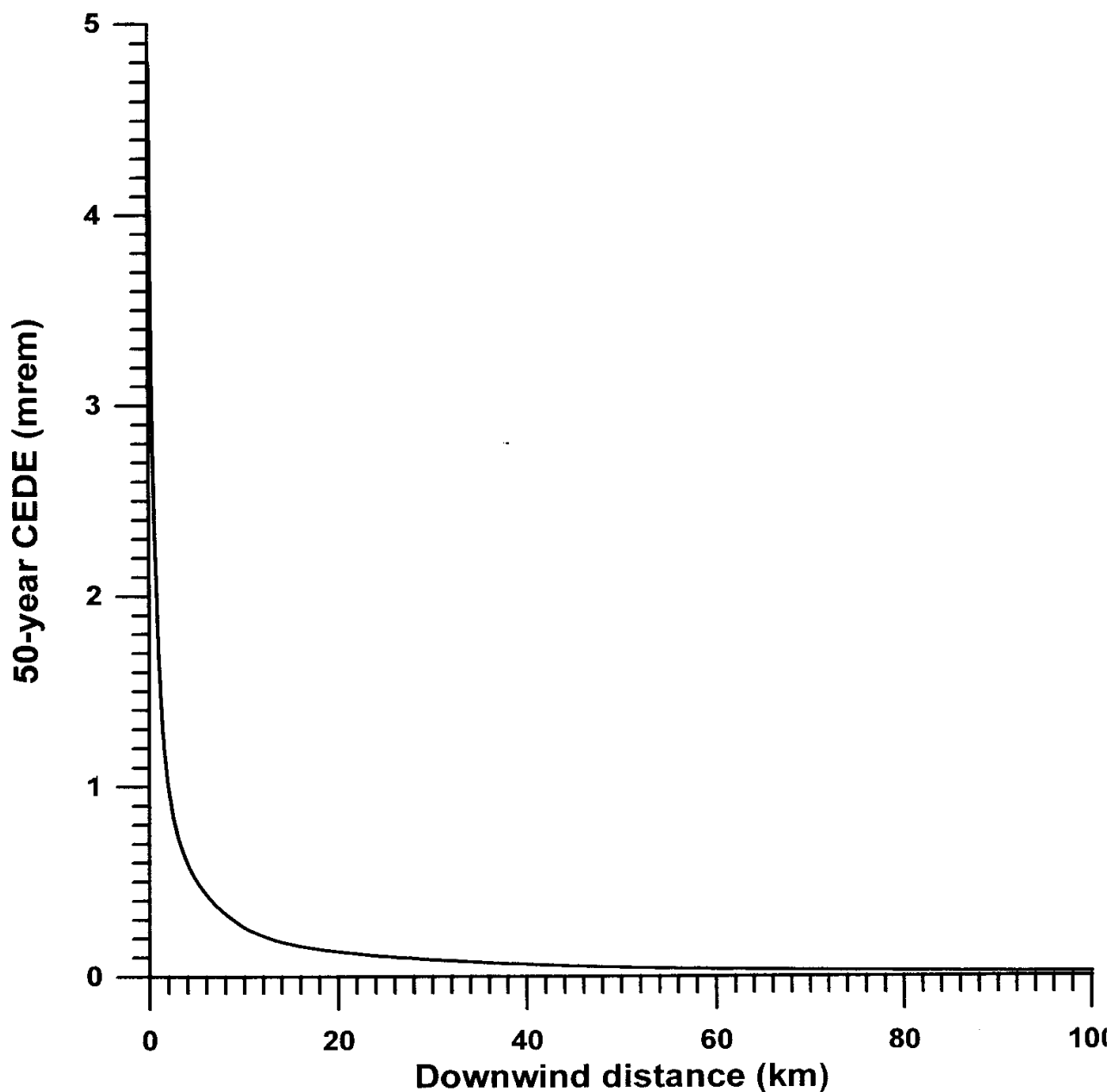
1. 5 бэр в год для персонала (для защиты от рака);
2. 50 бэр в год для персонала для любого отдельного органа (для защиты от пороговых эффектов, таких, как радиационные ожоги и т.д.);
3. 50 бэр в год для кожи или для конечностей;
4. 15 бэр в год для хрусталика глаза (для защиты от катаракты);
5. 0,1 бэр в год (на протяжении 70 лет) для населения,

то мы приходим к выводу, что лица, находившиеся в момент взрыва на расстоянии 100 м от него, получают на протяжении 50 лет после взрыва дозу, в 20 раз меньшую максимально допустимой годовой дозы.

Очевидно, что на расстояниях, больших 20 км, дозы пренебрежимо малы. Конечно, на близких расстояниях воздействие ударной волны будет разрушительным и будет доминировать над любым другим эффектом. С другой стороны, выпадение на грунт на расстоянии 100 метров составит  $0,038$  мккюри/ $m^2$ , в то время как для того, чтобы земля считалась непригодной для обработки, концентрация должна превышать  $2$  мккюри/ $m^2$ ,<sup>21</sup> что почти в 50 раз больше. Для того, чтобы подчеркнуть невозможность радиоактивного заражения ОУ стран, прилегающих к Югославии, мы предположим, что против целей в Приштине в Северном Косово было выпущено 1000 таких ракет. Это приведет к значению дозового эквивалента на 50 лет в  $0,046$  бэр на расстоянии в 50 км. Отметим, что исследования на компьютерном томографе сопровождаются получением дозы в  $1,1$  бэр (для головы и тела). Если мы будем поворачивать подветренный радиус изодозы по всем возможным направлениям дозы, то образуется круговое пятно, которое указывает на площадь риска, соответствующую данной модели (см. рис. 4). Вне границ этого пятна нельзя ожидать появления дозы, большей той, которую получают при рентгеновском обследовании таза.

**Моделирование бомбовых атак БЛУ-109/Б.** В этой модели, согласующейся с нашим наихудшим сценарием, мы также предполагаем, что боеголовка бомбы изготовлена из ОУ (*Примечание редактора: и здесь никаких подтверждений этого не имеется.*). В данном случае мы имеем взрыв 243 кг ВВ с 651 кг ОУ. Предположив, что по целям в Приштине, при тех же условиях, что и в варианте с «Томагавками», было сброшено 1000 бомб БЛУ-109/Б, мы получим, что 50-летний дозовый эквивалент на расстоянии 50 км равен  $0,06$  бэр. Суммарный дозовый эквивалент от «Томагавков» и БЛУ-109/Б остается малым,  $0,1$  бэр (что меньше, чем получает пациент при рентгеновском обследовании поясничной части позвоночника). При таких атаках, если бы они проведены по Югославии, было бы использовано около 1000 тонн ОУ (из них 200 тонн во вдыхаемой фракции), в то время как, согласно иракским властям, во время войны в Персидском заливе на территории Ирака осталось 315 тонн ОУ.

**ОУ в ПГУ-14/Б АПИ и в снарядах АПДС-ПС.** Типичный боекомплект пушки ГАУ-8 включает 1100 снарядов калибра 30 мм. Каждый снаряд содержит 330 г ОУ в сплаве с  $0,75\%$  алюминия. Корпус снаряда из алюминия толщиной  $0,8$  мм предотвращает выход альфа-излучения<sup>22</sup>. Следовательно, каждый снаряд содержит примерно  $0,15$  мкюри. После удара снаряд подвергается действию высоких температур из-за трения о броню. Кроме того, если бронемашина взрывается или загорается, то следует принимать во внимание вдыхаемую активность, образуемую броневой панелью. Например, утолщенная броня танка «Абрамс» усилена на башне и сбоку панелями ОУ, вставленными между обычными стальными листами. Другим источником ОУ является основной броневой снаряд 120 мм гладкоствольной пушки М256 (главного оружия танка М1А1), снабженный хвостовыми стабилизаторами. Очевидно, что танки, атакованные силами НАТО в Югославии, исследовались на наличие радиоактивных следов. Отметим, что снаряды с ОУ всегда оставляют характерный радиоактивный след на входном и выходном отверстиях. Каждый раз, когда А-10 разряжает свою пушку, в окружающую среду выбрасывается 360 кг ОУ. Мы использовали модель клина для оценки количества ожидаемых долговременных смертных случаев в расчете на один вылет, предполагая, что А-10 полностью расходует свой боекомплект при каждом вылете, и что весь ОУ превращается во вдыхаемую фракцию (наихудший вариант сценария; см. рис. 5). При средней плотности населения в Югославии в 100 человек на  $km^2$  отсюда следует, что для одного дополнительного смертного случая понадобится около 50 вылетов А-10. Несмотря на то, что командиры будут рассредоточивать свои силы, насколько это возможно, средняя плотность военных сил на театре боевых действий может достигать значений для городских районов (от 300 до 3000 человек на  $km^2$ ). В результате этого ожидается, что опасность рака на театре боевых действий будет выше. Если мы предположим, что риск смерти от рака у населения Югославии такой же, как у американского населения ( $20\%$ ), то 5000 таких вылетов увеличат индивидуальный фактор риска от рака на  $10^{-5}$ . На высоком фоне такое увеличение должно остаться незаметным. Конечно, в данном конкретном случае союзные танки не были разгерметизированы в Югославии.



**Рисунок 2.** 50-дозовый эквивалент в зависимости от подветренного расстояния от взрыва 50 кг ВВ в боеголовке с 400 кг ОУ (наихудший вариант сценария с «Томагавками»).

### **ВАРИАНТ «ХЕЛЛФАЙРА»**

Из-за малой мощности и веса (боеголовка весит меньше 10 кг) любая опасность, связанная с этим оружием, будет значительно меньшей, чем в сценарии с «Томагавками». Если в засекреченный состав этой бронированной конструкции действительно входит ОУ, то ожидается, что он будет представлять опасность только для лиц, находящихся на весьма малых расстояниях, особенно «во время танковой атаки». Поскольку надежных данных не имеется, а рассматриваемое оружие в Косове не использовалось, любые предположения не будут иметь смысла.

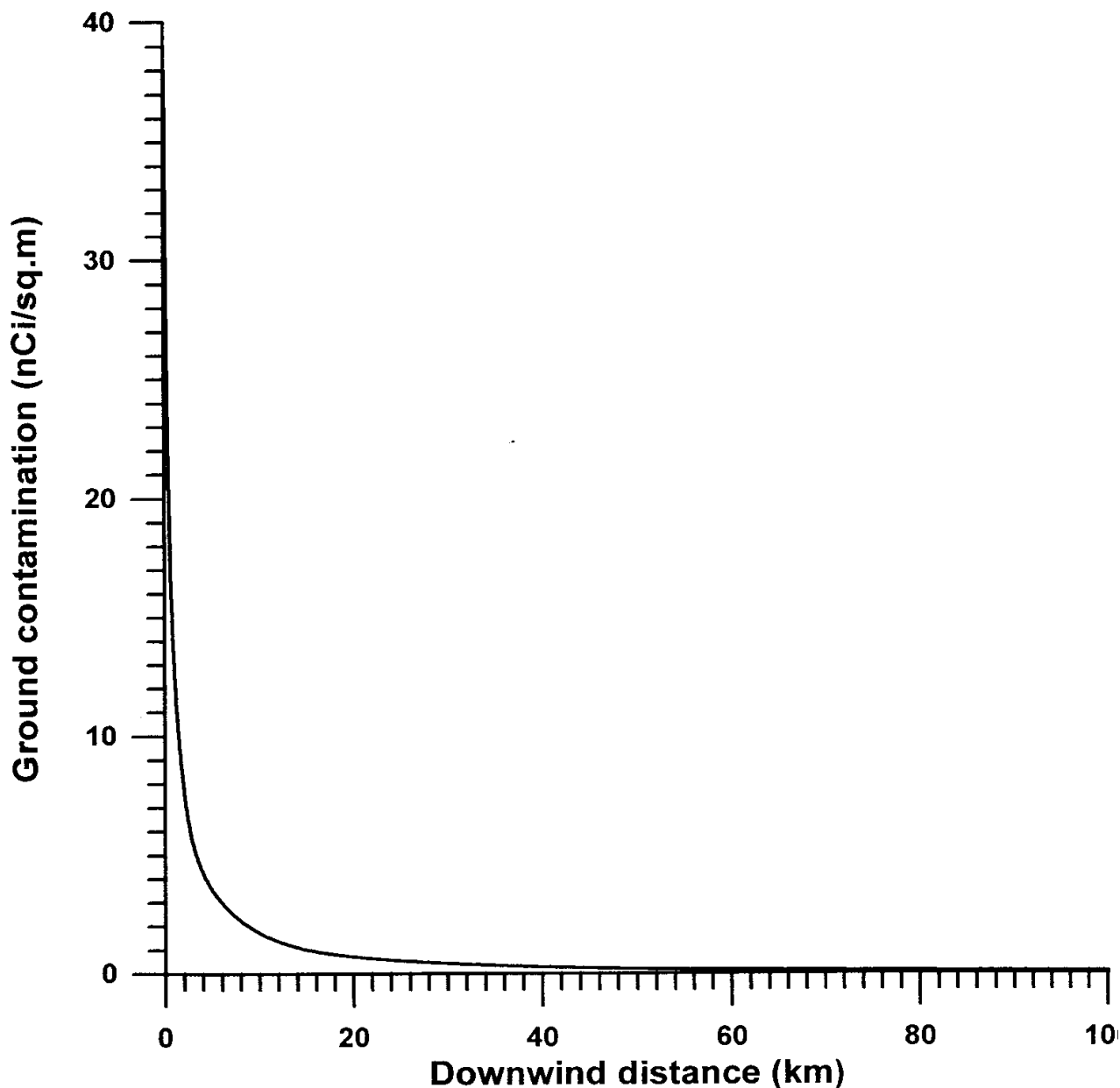
### **ХИМИЧЕСКАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ОУ**

Токсическая опасность может быть оценена при помощи простой модели, не требующей детального знания распределения населения в области распространения и метео-

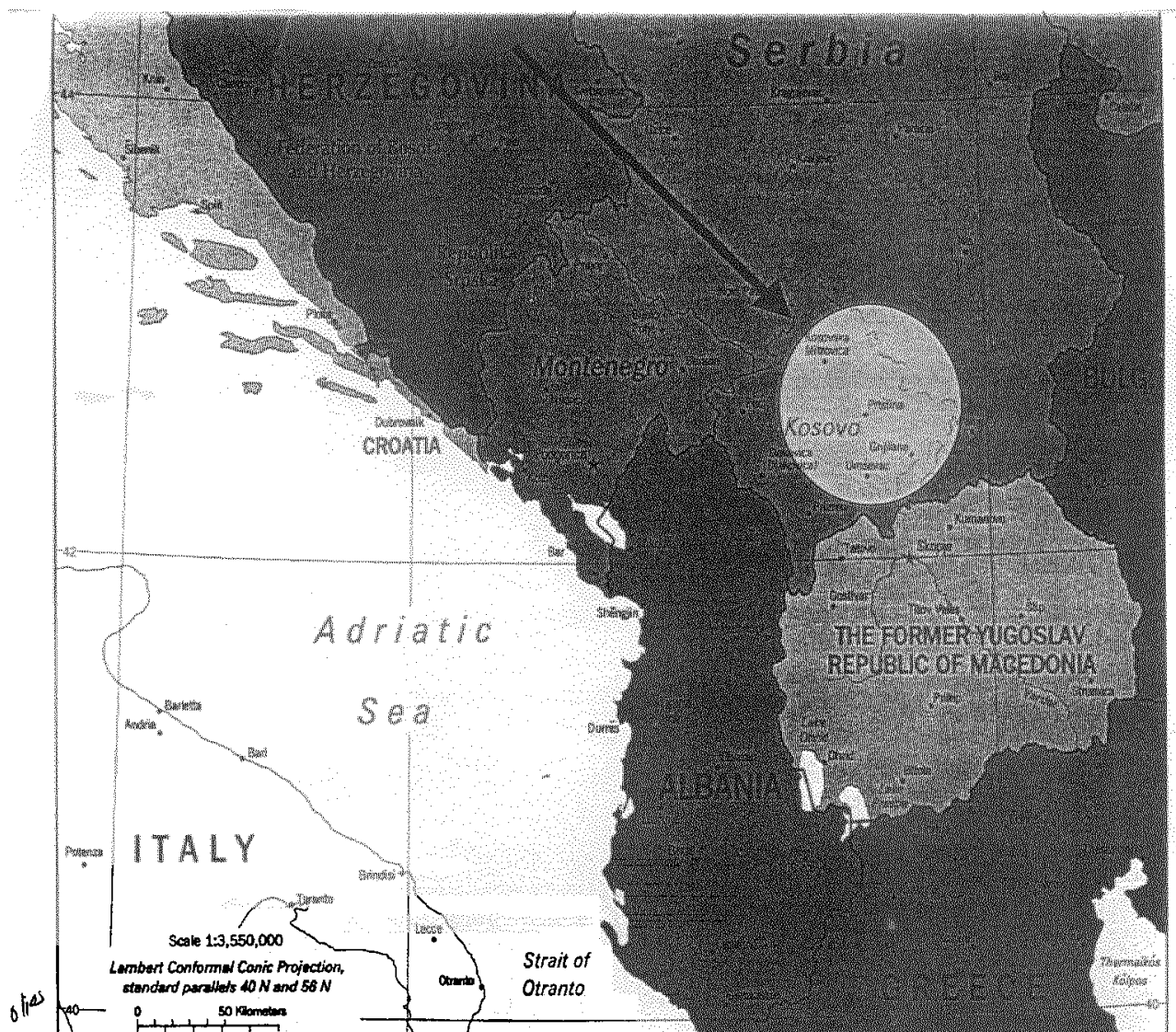


рологических условий. Предположим, что 1000 тонн вдыхаемого ОУ однородно распределено по Греции на площади в 132 000 км<sup>2</sup>. Мы предположим, что все аэрозоли сконцентрированы в слое воздуха толщиной 1 км. Это дает концентрацию в 7,5 мкг/м<sup>3</sup>, которая в 26 раз меньше предельно допустимой. Аналогичные расчеты для Македонии<sup>23</sup> приводят к концентрации в воздухе в 40 мкг/м<sup>3</sup>, которая также не вызывает большого беспокойства.

Время жизни облака зависит от высоты и скорости выпадения частиц. Разумно принять скорость выпадения в 1 см/с<sup>24</sup>, а частицы с размером, большим 1 мкм, будут оседать быстрее. Дождь или влажность будут увеличивать скорость выпадения. В этом сценарии частицам из верхнего слоя облака для выпадения на поверхность понадобится 27 часов. Маловероятно, что облако останется над городом на такое время. Даже легкий бриз (5 м/с) перенесет облако через большой город (размера Афин) за несколько часов.



**Рисунок 3.** Наземная концентрация в зависимости от подветренного расстояния от взрыва 50 кг ВВ в боеголовке с 400 кг ОУ (наихудший вариант сценария с «Томагавками»).



**Рисунок 4.** Моделирование 1000 атак ракетами «Томагавк» против Приштины. Предполагается, что каждая ракета несет 400 кг ОУ (наихудший вариант сценария). Подветренный радиус изодозы гауссовской модели поворачивается, чтобы покрыть круговую зону радиационной опасности. За пределами круговой зоны радиусом 50 км дозовый эквивалент меньше, чем от рентгеновского обследования таза (46 мБэр).

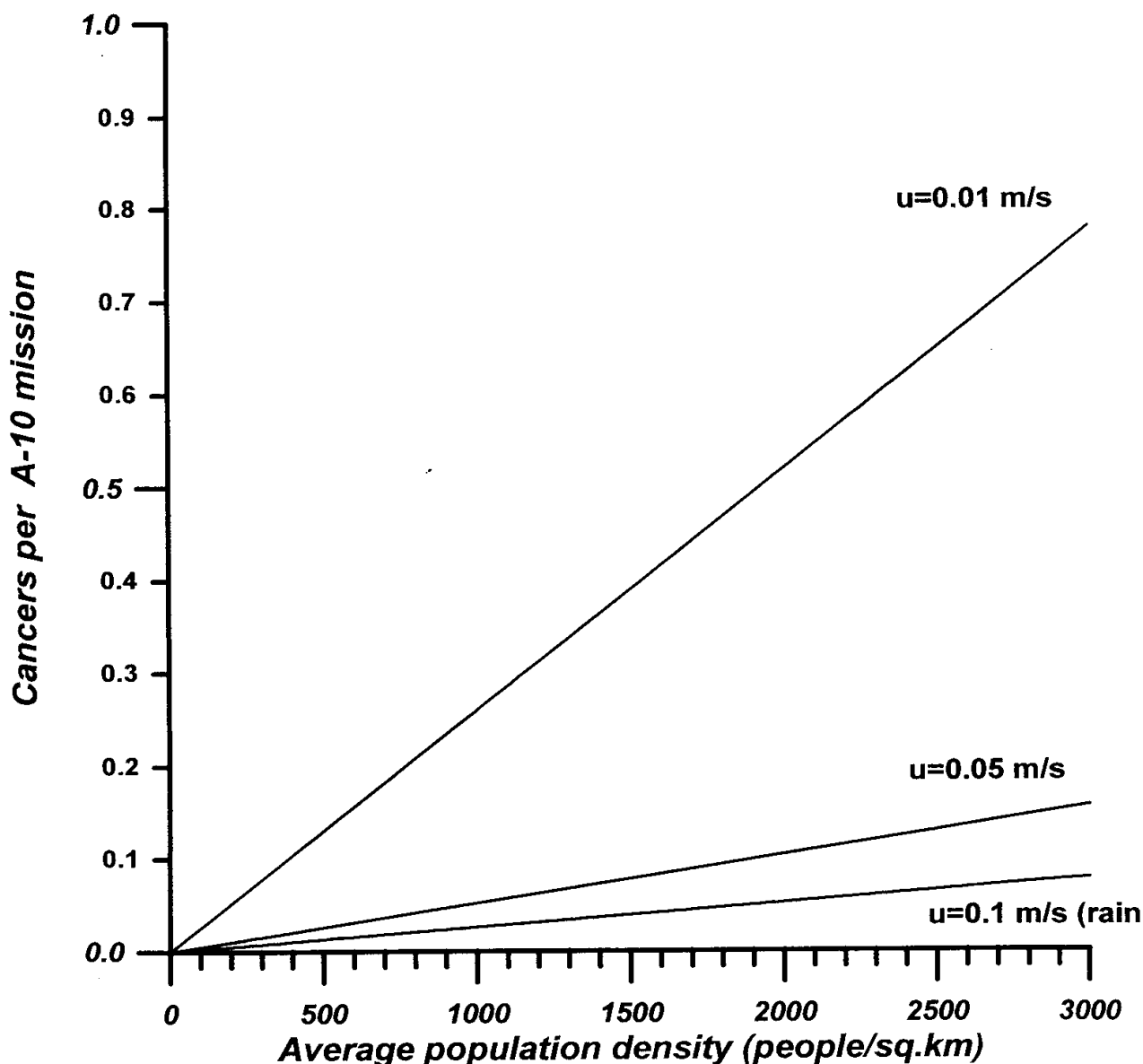
Конечно, реальное токсичное облако вряд ли будет иметь такую форму, но данная модель дает твердую уверенность в том, что опасения крупномасштабного токсического отравления из-за предполагаемого применения ОУ в Косово беспочвенны. Отметим, что количество вдыхаемого ОУ не зависит от высоты и протяженности облака, как было показано в аналогичном исследовании, которое опровергло преувеличенные утверждения об опасности плутония<sup>25</sup>.

Такие абсолютно наихудшие варианты показывают отсутствие непосредственной угрозы радиологической или химической токсичности ОУ в соседних с Югославией странах. Можно предположить, что локальное выпадение ОУ может привести к его попаданию в пищевой цикл и достичь обитателей других стран через импорт товаров или течение рек. Однако, такие эффекты считаются менее опасными, чем прямое вдыхание ОУ из выброса.

## ВЫВОДЫ

Для того, чтобы оценить радиологическую и химическую опасность предполагаемого использования ОУ в операции союзных сил для Югославии и соседних с ней стран, были

использованы экстремальные наихудшие варианты сценариев. Было показано, что для соседних стран эта опасность пренебрежимо мала, в то время как для населения самой Югославии были получены указания на то, что любое увеличение общей долговременной смертности от рака будет таким малым, что оно должно остаться незамеченным.



**Рисунок 5.** Предсказания опасности рака по модели клина для различных скоростей выпадения и нормальной скорости дыхания.

Наиболее опасным представляется использование боеприпасов ПГУ-14/Б АПИ, поскольку они регулярно применяются на поле боя, и применение ОУ в них было подтверждено открыто. Однако, их использование ограничивается пушкой на реактивном самолете А-10. Если бы использовались вертолеты «Апач», последствия были бы больше. С другой стороны, для точного предсказания радиологического и химического заражения ОУ на очень близких расстояниях необходимо точные данные о составе боеприпасов, используемых в ОСС, в особенности, для изучения образования локальных радиоактивных пятен. Такие данные можно получить либо от руководства НАТО, либо при изучении фрагментов соответствующих боеприпасов («Томагавков», бомб БЛУ и т.д.), рассеянных поблизости от взрыва. Если ОУ будет обнаружен, то подобное моделирование может дать более точные данные для уточненной оценки опасности в конкретном районе.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность С. Хоманну за предоставление его программы «ХОТСПОТ» и Х. Фейвесону, С. Феттеру, К. Ипсилантису, и А. Петкоу за полезные комментарии и обсуждения. Данная работа была инициирована статьей, в которой такие же модели оценки риска использовались для изучения опасности аварий, сопровождающихся разбросом плутония<sup>26</sup>. Автор признателен Г. Зерэфосу за ценную информацию и советы по послевоенным экологическим последствиям в Югославии.

## ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. J. Pike, Federation of American Scientists (FAS), Military Analysis Network. Информация имеется по адресу <http://www.fas.org/man/index.html>.
2. S. Homann, *HOTSPOT Training Manual: Health Physics Codes for the PC*. Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) (Livermore, California: 1994), UCRL-MA-106315.
3. Report to the American Physical Society (APS) by the study group on light-water reactor safety. *Rev.Mod.Phys.* 1, (1975): 47.
4. См. ссылку 1.
5. K. Tsipis, "Cruise Missiles", *Scientific American* **236** (1977): 20.
6. Environmental Exposure Report, US DoD. Доступен по адресу <http://www.gulflink.osd.mil/du>
7. S. Fetter, et al. "Detecting Nuclear Warheads", *Science & Global Security*, 1: 3-4 (1990): 225.
8. K. Tsipis, *Understanding Weapons in the Nuclear Age* (New York: Simon & Schuster Inc., 1993) ISBN 0-671-44073-X.
9. См. ссылку 2.
10. 1998 TLVs and BEIs, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
11. См. ссылку 3.
12. 1 кубометр в час для взрослого на легкой физической работе.
13. Принятое значение эффективного дозового эквивалента представляет собой взвешенную сумму дозовых эквивалентов для органов, умноженных на соответствующий весовой множитель риска. Оно означает общую дозу, полученную лицом в результате ввода радиоактивных материалов в течение 50-летнего срока.
14. Международная комиссия по радиационной защите. *ICRP Publication 30* (New York: Pergamon Press, 1979) 1:2, 3-4.
15. См. ссылку 14.
16. E.J. Kansa, *Time Dependent Buoyant Puff Model for Explosive Sources*, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) (Livermore, California: 1997), UCRL-ID-128733.
17. S. Fetter, K. Tsipis, "Catastrophic Release of Nuclear Radiation", *Scientific American*, 244:4 (April 1981): 33.
18. На деле заметная часть реального выброса останется внутри строения, в котором взорвалась боеголовка. Поэтому наш сценарий будет еще более соответствовать наихудшему варианту.
19. См. сноску 16.
20. Title 10, Code of Federal Regulations, Part 20, Standards for Protection Against Radiation, Subpart C, 20.1201: Occupational Dose Limits for Adults, and Subpart D, 20.1301, Dose Limits for Individual Members of the Public.
21. См. сноску 5.
22. См. сноску 1.
23. Греция официально не признает названия Македония за бывшей югославской республикой Македонией.
24. См. сноску 2.
25. W.G. Sutcliffe, et al., *A Perspective on the Dangers of Plutonium*. Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) (Livermore, California: 1995), UCRL-JC-118235.
26. S. Fetter and Frank von Hippel, "The Hazard from Plutonium Dispersal by Nuclear-Warhead Incidents," *Science & Global Security* 2:1 (1980): 21