

ноябрь - октябрь

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

УДК 577.391.621.311.25

© 1991 г.

Ж.А. Медведев

ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ РАДИОНУКЛИДЫ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СССР.
ЕВРОПЕЙСКИЙ КОНТИНЕНТ¹

Радиационные последствия Чернобыльской катастрофы за пределами нашей страны скупо освещались в отечественной печати. Предлагаемая статья заполняет этот пробел. В ней рассказывается о масштабах и характере радионуклидных выпадений вне территории СССР. Анализируются возможные радиологические последствия таких выпадений и те защитные меры, которые предпринимались правительствами ряда европейских стран.

Чернобыль, радионуклиды, радионуклидное загрязнение территории европейских стран, отдаленные последствия, коллективная доза, зиверт, плотность выпадений, генетические эффекты.

ВВЕДЕНИЕ

Чернобыльская авария привела все страны Северного полушария в состояние радиологической тревоги. Было известно, что реактор мощностью в 1 млн Вт (электрической) накапливает к концу своего двухгодичного цикла до 2 млрд. Ки различных радионуклидов. По количеству радиоактивного йода (^{131}I) в воздушных массах, проходивших 27 и 28 апреля над Скандинавскими странами, было очевидно, что значительная часть этих радионуклидов могла быть выброшена во внешнюю среду. Радиоактивный йод выделяется в форме летучего газа, и первые подсчеты Ливерморской национальной лаборатории в США, сделанные в начале мая 1986 г., показали, что, может быть, весь радиоактивный йод, находившийся в реакторе, был выброшен в среду в течение 10 дней, в течение которых шло активное «извержение» радионуклидов. Это составляло около 80 млн. Ки, и такое количество, если бы эти цифры подтвердились, создавало бы большие проблемы для всех стран Европы. На втором месте после радиоактивного йода был радиоактивный цезий². Было очевидно, что и в этом случае возможен выброс нескольких миллионов кюри. Во всех странах, имевших радиологические службы, были быстро развернуты многочисленные станции для взятия проб воздуха, воды, почв, растительности и определений поступления радиоактивности по пищевым цепям. Результаты наблюдений обрабатывались международными организациями, прежде всего Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), Научным комитетом ООН по действию атом-

¹ Статья дается без рецензирования и редактирования.

² Если даже не учитывать инертный ^{133}Xe (выброс ~ 45 МКи), то второе место после ^{131}I по выброшенной активности занял бы ^{140}Ba (выброс 4,3 МКи). (Ред.)

ной радиации (НКДАР ООН), а также радиологическими службами НАТО и некоторыми другими.

Было известно, что загрязнение среды при наличии радиоактивного аэрозоля за счет «сухого» осаждения частиц зависит от расстояния от источника загрязнения и уменьшается по мере разведения концентрации аэрозоля массами воздуха. Более крупные частицы, естественно, выпадают быстрее, чем мелкие, и, следовательно, ближе к Чернобылю. Но «мокрое» осаждение было намного опаснее, так как смыв из атмосферы радиоактивных частиц дождями создавал локальные зоны относительно высокого загрязнения, часто на очень далеком расстоянии от аварийного реактора. Уже 5—6 мая 1986 г. были известны первые предварительные уровни загрязнения разных стран. В последующем эти данные дополнялись и уточнялись в результате более точных исследований разных радионуклидов. Можно было бы ожидать, что в настоящее время, через 5 лет после Чернобыльской аварии, существует какая-то общая картина того, в какой степени оказались загрязненными различные страны. Этого, однако, не произошло, и «политико-географические» таблицы загрязнений разных стран чернобыльскими радионуклидами отличаются крайней противоречивостью. Пока трудно объяснить эту пестроту обобщающих данных. Судя по всему, она определяется просто тем, что национальные радиологические комитеты представляли в международные организации либо неточные предварительные цифры, либо явно заниженные данные, стремясь уменьшить беспокойство собственного населения. В результате этого НКДАР ООН, публикуя в 1989 и 1990 гг. итоговые данные по глобальному радиационному эффекту Чернобыльской аварии, приводил таблицы и графики, из которых следовало, что Советский Союз по средней индивидуальной «эффективной дозе» от всех чернобыльских радионуклидов в первый год после аварии оказался на 11-м месте, пострадав меньше, чем Швейцария и Италия [1]. По этим данным, наибольший относительный вред населению Чернобыльская авария нанесла в Болгарии, Австрии и Греции. Американские данные, также составленные на основе отчетов отдельных стран, но с учетом некоторых независимых измерений, выделили Польшу как наиболее пострадавшую страну и при расчетах дозы за первый год и за последующие 50 лет [2]. После Польши, где за 50 лет индивидуальная доза от Чернобыля оказывалась на уровне $2,2 \cdot 10^{-3}$ Гр от внешнего облучения и $2,2 \cdot 10^{-3}$ Гр от внутреннего, связанного с потреблением загрязненных продуктов питания, находилась Румыния ($2,1 \cdot 10^{-3}$ Гр от внешнего и одинаковая с Польшей от внутреннего). Для СССР цифры были ниже ($9,1 \cdot 10^{-4}$ и $6,8 \cdot 10^{-4}$ Гр), так как они рассчитывались на все население. При расчетах коллективной дозы на 50 лет на все 280-миллионное население, СССР с общей дозой в 326 900 чел.-Гр выходил все же на первое место в мире. Однако коллективная доза Польши (150 тыс.чел.-Гр.), была достаточно близка и совместно с Румынией (92 тыс.чел.-Гр), Западной Германией (58 тыс.чел.-Гр) и Югославией (79 тыс.чел.-Гр) показала, что население Восточной и Центральной Европы пострадало от Чернобыльской аварии сильнее, чем население европейской части СССР. Истоки этих нелепостей, которые повторяются во многих обобщающих работах, можно обнаружить в официальных советских отчетах радиологических последствий Чернобыльской аварии для населения СССР, опубликованных в 1987 и 1988 гг. [3]. Подсчитывая коллективную эффективную эквивалентную дозу для разных географических регионов СССР (в зивертах, соответствующих греям для γ -излучения) на 70 лет, авторы, по-видимому, занизили не только общую коллективную дозу (326 540 чел.-Зв), но и коллективные дозы для Белоруссии и Украины. Если судить по этим данным, являвшимся официальными данными Минздрава СССР, то коллективная доза населения Украины (80 660 чел.-Зв) равна коллективной дозе намного меньшего населения Югославии, а коллективная доза Белоруссии (106 340 чел.-Зв) меньше, чем коллективная доза населения Польши. В 1987—1988 гг. такое искусственное

занижение данных по СССР было не столь очевидно, так как еще не были опубликованы карты загрязнений территории СССР радиоизотопами цезия, стронция и плутония. После публикации этих карт в 1989 и 1990 гг. стало очевидно, что загрязнение значительных территорий Украины, Белоруссии и Брянской области РСФСР превышает максимальные уровни, обнаруженные в Польше, Румынии, Венгрии или в ФРГ в 100 раз и более.

Занижение исходных данных суммарных коллективных и индивидуальных доз, полученных населением в результате Чернобыльской аварии было характерно не только для советских авторов. Национальные радиологические комитеты разных стран также, как правило, занижали эти цифры, чтобы не вызывать беспокойство населения.

В 1988 г. Польская центральная лаборатория радиационной защиты опубликовала отчет, согласно которому польское население по годовой эффективной дозе находилось на 12-м месте в мире, позади не только СССР, Румынии и Австрии, но также и Швейцарии, Греции и ГДР [4]. Британский национальный комитет радиационной защиты занижил в 1987 г. общebritанскую коллективную дозу примерно в 3 раза. Все это говорит о том, что цифры чернобыльских радиоактивных загрязнений, приводимые обобщенно национальными радиологическими комитетами или международными организациями, включая МАГАТЭ, ВОЗ и НКДАР, являются, как правило, неточными. Однако и в Европе, и в других частях света работает множество лабораторий, которые интересуются чернобыльскими загрязнениями не для оценки общих доз, полученных всем населением, и не для отчетов, а для изучения конкретных научных проблем о распространении радионуклидов в среде и в пищевых цепях. Чернобыльская авария впервые в истории атомной энергетики привела к загрязнению огромных территорий широкой гаммой реакторных радионуклидов. Это позволило многим радиобиологам, радиоэкологам и радиогигиенистам отойти от моделей и изучать реальные процессы радиационного загрязнения. Для исследований этого типа не было никакой необходимости производить фальсификацию результатов. Они также должны были проводить независимые от других измерения радиоактивности разных продуктов и среды. В настоящей статье я постараюсь учесть результаты исследований и этого независимого направления. Однако отдельные университетские лаборатории, как правило, не могли проводить широких географических обобщений и ограничивались условиями сравнительно небольших территорий, часто окрестностей того или иного города.

КОЛИЧЕСТВО ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СССР

Первоначальные советские данные об общем выбросе радионуклидов при аварии реактора № 4 Чернобыльской АЭС, представленные на совещании в МАГАТЭ в августе 1986 г., имели предварительный характер и касались только выпадений на территории СССР. Тем не менее общая цифра в 50 млн.Ки, представленная в этом отчете, продолжает по-прежнему использоваться в советской литературе. В 1986 г. советский отчет МАГАТЭ признавал, что ошибка определений могла достигать 50%. К настоящему времени по сумме всех радионуклидов не появилось новых пересчетов общего выброса. Однако по радиоактивному йоду и по ключевым долгоживущим радионуклидам такие пересчеты были сделаны и советскими, и иностранными авторами. Они показали, что первоначальные цифры были занижены. Особенно существенным оказалось занижение по радиоактивному йоду. В 1986 г. советские данные признавали, что на 6 мая 1986 г. было выброшено 7,3 млн.Ки ^{131}I . На основании этой же цифры, которая, выраженная в беккерелях, составляла $270 \cdot 10^{15}$ Бк, рассчитывались коллективные дозы по радиоактивному йоду на щитовидную железу в итоговой работе [3]. Однако в более поздней итоговой работе [5] (25 авторов),

представленной в качестве официального отчета Минздрава СССР в 1989 г., общее выделение ^{131}I составляет 17 млн.Ки, из которых 66% выпало на территории СССР (т.е. 11,2 млн.Ки). На территории остальной части Европы выпало около 5 млн.Ки и 0,8 млн.Ки ушло в глобальные выпадения за пределами Европы и СССР. Расчеты, проведенные Ливерморской национальной лабораторией в США [6], сделанные на основании данных, поступивших со всего мира, дают еще более высокую цифру. По этим данным, при аварии на Чернобыльской АЭС было выброшено 36 млн.Ки ^{131}I ($1300 \cdot 10^{13}$ Бк) и 8,1 млн.Ки ^{131}I .

По радиоактивному цезию (^{137}Cs) расхождения между советскими и западными данными также существуют, но они не столь значительны, как по радиоактивному йоду. Последние советские итоговые данные оценивают общее выделение ^{137}Cs в 1,9 млн.Ки. Из этого количества 44%, т.е. около 1 млн.Ки, выпало на территории СССР, 38% в остальной части Европы и 18% за пределами Европы и СССР [5]. По данным Ливерморской лаборатории в США глобальное выпадение ^{137}Cs составляло 2,4 млн.Ки и ^{134}Cs 0,55 млн.Ки [6]. В ряде других итоговых западных публикаций цифры глобальных выпадений цезия были на 10—20% выше. В этих расчетах для СССР обычно бралась итоговая цифра советских отчетов, тогда как для остальных стран данные устанавливались на основании независимых измерений. Радиоактивный цезий относится к высоколетучим изотопам, но все же его «летучесть», безусловно, не выше, чем у радиоактивного йода. Поэтому трудно объяснить, почему относительно большее количество йода выпало на территории СССР, тогда как по цезию дело обстояло наоборот. Судя по всему, общее выпадение цезия на территории СССР было занижено. Официальные советские данные по конкретному загрязнению территорий в СССР на декабрь 1989 г., представленные Госгидрометом для Государственной экспертной комиссии Госплана СССР и послужившие основанием для составления карт загрязнений, не приводят общих цифр загрязнения цезием-137, но дают размеры территорий и уровни загрязнений (от 1 до 5, от 5 до 15, от 15 до 40 и выше 40 Ки/км²) (Москва. № 11. 1990. С. 141) в РСФСР, в Белорусской ССР и в Украинской ССР. Простой пересчет с размеров территорий и уровней загрязнения показывает, что на наиболее загрязненной территории в 80 000 км² содержалось от 400 до 600 тыс.Ки цезия-137 в 1989 г. Если учесть смыв за счет эрозии, составляющий от 6 до 10% в год, вынос с урожаями культур, распад цезия-134, имеющего короткий, 2-годовой период полураспада и распад долгоживущего цезия-137, составивший за 4 года около 12%, то очевидно, что только на этой территории главных цезиевых пятен находилось после аварии в 1986 г. не менее 1 млн.Ки радиоактивного цезия. На всей европейской территории СССР выпало, по-видимому, не менее 2—3 млн.Ки ^{137}Cs .

Из других долгоживущих радионуклидов главную опасность представляют стронций-90 и различные изотопы плутония. Однако эти радионуклиды являются относительно слаболетучими, и поэтому за пределы СССР попало не более 10—15% от их общего выброса.

СЕВЕРНАЯ ЕВРОПА

Радиоактивное облако, сформировавшееся после взрыва реактора 26 апреля, содержало, по предварительным данным, представленным в августе 1986 г. в МАГАТЭ, от 12 до 18 млн.Ки различных радионуклидов. Ветер понес его в северо-западном направлении через северо-восточный район Польши, Литву и Балтийское море. В воскресенье 27 апреля радиоактивное облако уже достигло Скандинавии и Финляндии, однако только в 7 ч утра в понедельник 28 апреля повышенная радиоактивность была обнаружена в Швеции. Автоматическая регистрация радиоактивности была включена и в воскресенье, но эти показания были обнаружены только в понедельник. Обзор ранних исследований чернобыльских радиоактивных загрязнений в этом районе и карта выпадений радио-

активного цезия в Швеции, где они оказались наиболее серьезными, приведены в моей книге о Чернобыле [7]. Однако, как это принято в радиозкологии и в радиобиологии, наблюдения за радионуклидами, загрязнившими ту или иную территорию, ведутся по годам в течение многих лет. Это позволяет получать и оценивать более полную картину. Кроме того, в первые год-два в изучении радиобиологической и радиологической обстановки доминируют правительственные и международные организации, задача которых состоит в том, чтобы не только определять уровни опасностей, но и вводить различные нормативы, давать рекомендации населению, налагать разнообразные запреты и принимать решения о компенсациях. Чисто научные исследования начинаются с некоторым опозданием, но они все же имеют большую объективность. В настоящем обзоре я, где это возможно, избирательно выделяю именно эту группу научных исследований.

ФИНЛЯНДИЯ

Карты загрязнений территории Финляндии отдельно по ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{103}Ru были составлены финским центром радиационной и ядерной безопасности [8].

Каждый из этих радионуклидов [9] имел несколько различающийся характер распределения по территории Финляндии. Однако ^{95}Zr и ^{103}Ru имеют относительно короткие периоды полураспада, 65 и 39 сут соответственно, и поэтому эти изотопы не имели существенного значения в последующих радиобиологических исследованиях. Главные выпадения радиоактивного цезия были в тех местах, где наблюдались дожди в период с 26 по 30 апреля 1986 г. По состоянию на 1 октября 1987 г., т.е. почти через 1,5 года после аварии, почти вся северная половина Финляндии была относительно чистой. Уровень загрязнения цезием здесь не превышал 6000 Бк/м^2 . В южной части страны примерно 1/5 часть территории имела содержание ^{137}Cs от 23 тыс. до 45 тыс. Бк/м^2 , и в центре южной части страны на территории примерно в 500 км^2 содержание цезия превышало 45 тыс. Бк/м^2 . Максимальный уровень был 78 тыс. Бк/м^2 . Если выразить эти уровни в кюри, то 1 Ки/см^2 дает 37 тыс. Бк/м^2 . Максимальная концентрация ^{137}Cs в воде южных озер была 5300 Бк/м^3 , т.е. 5,3 Бк/л . Но этот уровень быстро снизился за счет фиксации радионуклида в донных отложениях. Среди потребляемых в пищу продуктов наибольшие уровни загрязнений были обнаружены в хищных рыбах некоторых озер, в частности, у щук и окуней. У щук в озерах, расположенных в главном «цезиевом пятне», радиоактивность нарастала с 2000 Бк/кг живого веса в 1986 г. до 4000 Бк/кг в 1988 г. В молоке в среднем по стране радиоактивность и по ^{131}I , и по ^{137}Cs , и по ^{90}Sr не превышала 5 Бк/л . Никаких мер по защите населения не проводилось, кроме обработки воды в одном озере в южной части Финляндии в течение нескольких месяцев. Судя по данным внешнего облучения в главном «цезиевом пятне» в октябре 1987 г., получаемые дополнительные дозы колебались от 0,11 до 0,19 мкЗв/ч , что в максимальной части соответствует примерно удвоению дозы, получаемой от естественного радиоактивного фона. Таким образом, в 1987 г. «чернобыльская» доза внешнего облучения для самого загрязненного места в Финляндии не превышала 0,2 бэр. В 1986 г. она была, очевидно, в несколько раз выше за счет короткоживущих радионуклидов. Общая коллективная доза всего населения Финляндии от Чернобыля за 50 лет оценивается в 4000 Зв [2]. В 1987 г. в среднем содержание чернобыльских радионуклидов в теле одного человека составляло 2000 Бк, минимальные величины — 400 Бк и максимальные — 10 тыс. Бк. Финские лаппы³ — аборигенное население, занимающееся оленеводством, не получили существенной дозовой нагрузки. Она была ниже, чем та, которую они получили от радиоактивных выпадений

³ Самоназвание этого народа «саами». (Ред.)

от испытаний атомного оружия, достигавших максимума в 1965 г.⁴ [10]. Финские лаппы живут в северной Финляндии, где выпадения чернобыльских радионуклидов были минимальными. В среднем концентрация цезия в мясе оленей в 1987 г. была около 720 Бк/кг, снизившись до 230 Бк/кг в 1988 г. Это было намного выше, чем концентрация цезия в мясе других лесных животных.

На наиболее загрязненной территории южной Финляндии с уровнями радиоактивного цезия от 26 тыс. до 100 тыс. Бк/м² проживает 1,23 млн. человек. В прилегающих к ним районах с более низкими уровнями ¹³⁷Cs (от 12 тыс. до 25 тыс. Бк/м²) проживает 1,89 млн. человек. На остальной, относительно чистой территории проживает 1,57 млн. человек. Известно, что наиболее чувствительным ранним показателем эффекта радиации на человеческий организм и на организм животных является увеличение дефектов эмбрионального развития и рост спонтанных аборт. Эмбриональный период является наиболее чувствительным, так как повреждение клеток мутагенными факторами обычно происходит в период митоза. В связи с этим группа финских медиков провела обширное сравнительное исследование частоты аномалий развития и спонтанных аборт в трех указанных выше регионах Финляндии до и после апреля 1986 г. (наблюдения велись до декабря 1987 г.). В результате этих наблюдений не было обнаружено увеличения аномалий развития, связанных с радиацией. И до, и после аварии во всех регионах среднее число аномалий эмбрионального развития не превышало 1,1%. Не было также увеличения случаев эмбриональной смерти. Однако авторы обнаружили в наиболее загрязненных районах увеличение случаев преждевременных родов и снижение числа беременностей в конце 1986 и в 1987 гг. Снижение рождаемости после аварии в Чернобыле объясняется осторожностью женщин, не хотевших увеличенного риска. Увеличение числа спонтанных аборт пока не нашло объяснения [11].

НОРВЕГИЯ

Норвегия, как и Швеция, была задета первым чернобыльским облаком, которое ушло в северо-западном направлении 26 и 27 апреля 1986 г. Это же облако, пройдя над Швецией и центральной Норвегией, повернуло на восток и прошло над южной Финляндией. В центральной Норвегии 28 апреля прошли дожди, и это создало в этом районе максимальные для этой страны уровни загрязнения радионуклидами.

В центральной части Норвегии средний уровень загрязнения поверхности почвы цезием был равен 23 тыс. Бк/м². Однако колебания были достаточно широкими — от 2 тыс. до 360 тыс. Бк/м². Эти загрязнения создавали проблемы до 1989 г. По уровню радиоактивности на первом месте оказывались в 1987—1989 гг. грибы, затем шли мхи и лишайники, затем травы и листья деревьев. К концу 1988 г. общая радиоактивность в траве и листьях снизилась на 25—30%, тогда как в мхах и лишайниках она продолжала увеличиваться [12].

В Норвегии до 1986 г. существовали очень жесткие нормативы по допустимому загрязнению пищевых продуктов радионуклидами, не разрешавшие превышения содержания цезия выше 600 Бк/кг. Летом 1986 г. наибольшие уровни загрязнения были характерны для мяса и молока овец и коз. Поскольку около 30% всего поголовья овец превысило уровень содержания цезия в 600 Бк/кг, то было решено выбраковывать лишь то мясо, в котором радиоактивность по цезию превышала 2000 Бк/кг. В эту группу попадали овцы лишь с 3% выпасов [13]. Это мясо использовалось как кормовое на фермах пушных животных. Всего в эту группу попало около 30 тыс. голов овец. С 1987 г. нормативы по ¹³⁷Cs были повышены до 6000 Бк/кг. Неожиданно в 1988 г. содержание цезия в мясе овец стало повышаться. Как обнаружилось, это было связано с благопри-

⁴ Максимальный объем испытаний приходится на 1962 г. После Московского договора 1963 г. СССР, США и Англия не проводили испытаний, кроме подземных. (Ред.)

ятными условиями для роста грибов, которые поедались овцами. В некоторых случаях уровни цезия в мясе овец достигали 40 тыс. Бк/кг. Загрязненных овец за 2—3 мес. до забоя переводили на чистые корма. Эту программу применяли для 360 тыс. овец. В меньшей степени эта же картина наблюдалась и для других сельскохозяйственных животных. Около 45 тыс. голов крупного рогатого скота были включены в программу «чистого» питания.

Однако наиболее загрязненным оказалось поголовье оленей, которые питаются зимой лишайниками. Радиоактивный цезий накапливается в лишайниках в наибольшей степени, так как они поглощают этот радионуклид непосредственно из воздуха. Среди оленей в горных районах южной Норвегии наблюдались уровни загрязнения до 150 тыс. Бк/кг с осени 1986 г. Поскольку мясо оленей является важной составной частью диеты аборигенов — лаппов, то было решено поднять «допустимый» уровень для потребления до 6000 Бк/кг. При более высоких уровнях мясо уничтожалось (превращалось в порошок и закапывалось). В 1986 г. (октябрь — ноябрь) было уничтожено около 25% мяса оленей (560 т). В 1987 и 1988 гг. различные программы позволили уменьшить долю уничтожаемого мяса оленей до 10 и 6% соответственно.

Норвежские потери от Чернобыля включали также козий и овечий сыр, часть молока (в 1986 г.) и рыбу из пресноводных озер.

Различные программы по защите населения Норвегии основывались на экономических принципах. Было признано, что затраты до 25000 долл. на предотвращение коллективной дозы в 1 Зв являются оправданными. По проведенным подсчетам, в 1987 г. различные меры уменьшили дозовую нагрузку для всего населения на 454 чел.-Зв при расходах в 16000 долл. на 1 Зв. В 1988 г. «цена» 1 чел.-Зв поднялась до 41 тыс. долл., что уже считалось неоправданным. Общие расходы Норвежского правительства на контрмеры по защите населения составили около 20 млн. долл. Теоретически эти меры сохранили в течение будущих 50 лет 30—40 жизней.

По официальным подсчетам, «средний» норвежец получил около 0,25 мЗв в 1-й год после Чернобыльской аварии от потребления загрязненных продуктов. Эта доза почти не снижалась в течение 3 лет. У лаппов и охотников эта доза была выше в 10 раз. В наиболее загрязненных районах лаппы получили около 3,3 мЗв на человека в 1987 г. (т.е. около 0,33 бэра) [14]. Если бы не применялись меры по ограничению загрязненных продуктов, то эти дозы могли бы быть в 5—7 раз выше. Однако общая коллективная доза населения Норвегии на 50 лет оценивается лишь в 2000 чел.-Зв, что почти в 2 раза ниже, чем доза населения Финляндии. Загрязнение среды радионуклидами в Норвегии было несколько выше, чем в Финляндии, и такое снижение коллективной дозы объясняется прежде всего тем, что в Норвегии меры по контролю загрязнений и защите населения были намного энергичнее, чем в Финляндии.

ШВЕЦИЯ

Швеция, как самая крупная страна Северной Европы, обладала также и наиболее развитой системой мониторинга радиоактивных загрязнений. Это связано также и с большим числом в Швеции атомных электростанций, 50% производства электроэнергии в Швеции дают АЭС. В Норвегии нет АЭС. Благодаря горному рельефу 98% электроэнергии Норвегия получает от гидроэлектростанций. Радиоактивное облако, которое достигло Швеции 27 апреля, в основном прошло над центральной частью полуострова. Серьезные загрязнения были, как и в других странах, связаны с местными дождями. «Сухие» выпадения были незначительными, и на большей части территории Швеции уровни загрязнения цезием не превышали 3000 Бк/м², т.е. 0,1 Ки/км². Однако около 1000 км² территории вокруг г. Гавле на берегу Балтийского моря и более 10 тыс. км² севернее г. Сандсвал и в горах, где 27—29 апреля были осадки, серьезно пострадали от

выпадения радиоактивных йода и цезия. Загрязнения поверхности йодом достигали от 160 тыс. до 200 тыс. Бк/м², и в этих районах в мае 1986 г. проводилось уничтожение молока и других сельскохозяйственных продуктов. К концу 1986 г. около 10 тыс. км² территории Швеции имели загрязнение цезием выше 1 Ки/км² и существовало несколько «цезиевых» пятен с уровнями радиоактивности выше 80 тыс. Бк/м², т.е. выше 2 Ки/км². Швеция имеет значительно большее население оленеводов — лаппов (Лапландия) и более 500 тыс. голов оленей. 170 тыс. животных оказались загрязненными (к осени 1986 г.) до уровней выше 6000 Бк/кг. Часть животных была уничтожена. Я уже давал ранее обзор тех мер, которые проводились в Швеции по защите населения [7]. В последние 2 года в Швеции были проведены многочисленные исследования по распространению цезия и других изотопов в лесных биоценозах, в озерах и в сельскохозяйственных цепях [15, 16].

Я привожу лишь примеры, а не стремлюсь дать полный обзор. Подсчеты сделанные в 1987—1988 гг., показывают, что общая коллективная доза для всего населения Швеции от Чернобыля в течение 50 лет будет равна около 10 000 чел.-Зв. Это ниже, чем доза от так называемого «естественного» фона радиации, включающего и выпадения от испытаний ядерного оружия. Загрязнения стронцием составляли лишь около 1% от загрязнений цезием. Это коллективная доза, по расчетам Шведского национального комитета радиационной защиты, может привести лишь к 100 дополнительным летальным случаям от рака в течение 50 лет. Статистически такое увеличение смертности для 8,3-миллионного населения невозможно уловить никакими методами.

Однако и эта небольшая цифра была явно заниженной. Уровень канцерогенности очень низких доз облучения невозможно устанавливать экспериментально. Но при экстраполяции от более высоких доз и на основании 45-летних наблюдений за динамикой раковых заболеваний у оставшихся в живых жителей Хиросимы и Нагасаки следовало бы увеличить «фактор риска» от Чернобыля для Швеции в 3—4 раза.

ДАНИЯ

Метеорологические условия благоприятствовали тому, что Дания была в минимальной степени среди скандинавских стран задета чернобыльским выбросом. Коллективная доза на 50 лет для всего населения Дании (5,2 млн. человек в 1986 г.) находится на уровне 800 чел.-Зв. Это дает возможность не включать Данию в настоящий обзор.

ВОСТОЧНАЯ ЕВРОПА

К этой группе стран относятся Польша, Чехо-Словакия, Венгрия и Румыния, восточные границы которых являются одновременно западными границами СССР. Эти страны подверглись наибольшему загрязнению от «сухих» чернобыльских выпадений, включавших и «горячие частицы», так как в течение всего 10-дневного периода активного выделения радионуклидов из аварийного реактора всякий раз, когда ветер дул в северо-западном, западном или юго-западном направлении, страны Восточной Европы подвергались загрязнениям. В Скандинавию чернобыльское облако приходило только 1 раз, тогда как в Польшу 3 раза. Однако, как и в других странах, главные районы загрязнений создавались не сухими, а «мокрыми» выпадениями, смываемыми на земную поверхность дождями.

ПОЛЬША

В конце апреля 1986 г. дожди шли во многих районах Польши, особенно в юго-западной части страны. Почти 1/3 польской территории получила «мо

рые» выпадения чернобыльских радионуклидов. Именно это наряду с компьютерными моделями миграций радиоактивного облака в Европе в течение 26 апреля — 6 мая 1986 г. и анализом конкретных метеорологических условий привели западных экспертов к заключению о том, что Польша больше, чем какая-либо другая страна в Европе, пострадала от Чернобыльской аварии. Я уже упоминал о том, что расчеты глобальных эффектов Чернобыля, проведенные американскими исследованиями, приводили к выводу о том, что коллективная доза всего населения Польши на 50 лет ожидается примерно на уровне 150 тыс.чел.-Зв, что в 8 раз больше всех четырех стран Северной Европы, вместе взятых. Однако данные Польской Центральной лаборатории радиологической защиты не признают этих выводов и располагают Польшу далеко позади Швеции по общей коллективной дозе, а также позади Чехо-Словакии, ГДР, ФРГ и многих других стран. Наиболее достоверные данные по загрязнению разных стран были получены для цезия-137, так как этот радионуклид имеет очень длительный период полураспада и дает также эмиссию γ -излучения, делающего легкими полевые измерения. Излучения цезия составляют также главный компонент общей радиационной дозы в Европе. По официальным польским данным, максимальные уровни загрязнений по цезию не превышали 30 000 Бк/м² и в среднем для всей территории Польши были 2800 Бк/м² для ¹³⁷Cs и 1400 для ¹³⁴Cs. Средняя доза на одного человека в 1-й год была рассчитана как 932 кЗв, что в 3 раза меньше дозы, получаемой от естественных природных источников облучения [4]. Эти уровни загрязнения и дозы являются намного ниже, чем те, которые рассчитывались на одного человека в Финляндии. Эти же цифры повторяются и в других работах, которые публиковались этой лабораторией. Каких-либо независимых экологических исследований, которые давали бы возможность проверки официальных данных, я в радиобиологической литературе не нашел. Лично мне польские официальные данные кажутся существенно заниженными. Однако я вернусь к этому вопросу позже, после рассмотрения более обстоятельных результатов исследований в других странах этого региона. Польские официальные данные противоречат результатам измерений Британской радиобиологической лаборатории в Харуэлле, которая измеряла радиоактивность в почве на территории Британского посольства в Варшаве. В Варшаве не было дождей, и поэтому выпадения радионуклидов были лишь за счет «сухого» осаждения частиц аэрозоля. В мае 1986 г. британские цифры для почвы посольства были: 2800 Бк/м² для ¹³⁷Cs, 1700 Бк/м² для ¹³⁴Cs и 18,500 Бк/м² для радиоактивного йода [17]. В то же время в первые дни после аварии в Чернобыле именно в северо-восточных районах Польши было зарегистрировано наиболее высокое загрязнение йодом, и здесь была организована раздача защитных таблеток йодистого калия детям. Польский официальный отчет признает, что в некоторых районах в течение первых 3 дней выпало до 1 млн. Бк/м² радиоактивного йода. Однако соотношение между йодом и цезием в этих районах оказывалось на два порядка ниже, чем в Варшаве.

ЧЕХО-СЛОВАКИЯ

В Чехо-Словакии в конце апреля 1986 г. не было дождей, и это значительно уменьшило выпадение чернобыльских радионуклидов, ограничив их так называемыми «сухими» выпадениями. Все исследования по этим выпадениям и загрязнению сельскохозяйственных продуктов координировались Центром радиационной гигиены в Праге. Каких-либо независимых исследований не проводилось. По официальным данным выпадения и йода, и цезия в Чехо-Словакии были крайне незначительными и не требовали никаких защитных мер. Расчеты американских экспертов [2] показывали, что коллективная доза для всего населения Чехо-Словакии (15 млн.) на 50 лет составляет около 10 тыс.чел.-Зв. Эти данные не были результатом прямых измерений, а основывались на эк-

страполяции загрязнений от «сухих» выпадений в других странах Европы, в которых была возможность провести достаточно точные измерения и картирование (ФРГ, Австрия, Швеция и Венгрия). Было трудно ожидать, что сухие выпадения радионуклидов из одного и того же радиоактивного облака, которое 27—28—29 апреля прошло широким фронтом через Польшу, западную Чехо-Словакию, Германию и северную часть Австрии окажутся в Германии в 10 раз выше чем в Чехо-Словакии (из расчета на 1 м^2).

Загрязнения цезием молока в Чехо-Словакии по официальным данным, не превышали в 1986 г. 180 Бк/л (в среднем 45 Бк/л) и упали до 10—20 Бк/л в 1987 г. [18]. Внутренние дозы от загрязненных цезием пищевых продуктов за 3 года равнялись в Чехо-Словакии около 90 мкЗв на человека. В то же время те жители Чехо-Словакии, которые возвратились из Белоруссии и Украины, получили дозы на уровне 6 мЗв на человека, т.е. в 60—70 раз более высокие [19]. Я, однако, не исключаю, что официальные чехословацкие данные радиационных доз были сильно занижены. Польский официальный отчет, который, как я уже отмечал, сильно занижает данные для Польши, все же считает, что Чехо-Словакия подверглась более сильному загрязнению, чем Польша. Обобщающие данные по дозам, составленные НКДАР [1], которые также явно не безупречны, ставят Чехо-Словакию выше Польши по уровням загрязнения. При этом Чехо-Словакия оказывается между Италией и Югославией. Поскольку и для Италии, и для Югославии имеется возможность проверить официальные отчеты независимыми исследованиями, то следует отложить окончательные суждения о достоверности официальных цифр для Чехо-Словакии до той общей дискуссии, которая дается в конце настоящего обзора.

Научные экспедиции из Британского радиобиологического центра в Харуэлле, которые брали почвы после чернобыльской аварии в разных странах и которые в Восточной Европе могли это сделать только на территории посольств Британии в столицах, обнаружили в мае 1986 г. большую радиоактивность цезия в Праге (4900 Бк/ м^2 для ^{137}Cs и 2900 Бк/ м^2 для ^{134}Cs), чем в Варшаве.

ВЕНГРИЯ

Радиоактивное облако достигло Венгрии только 30 апреля 1986 г., после того, как ветер подул в противоположном направлении и понес радионуклиды на юг и на юго-запад. Это же облако прошло через Украину, создав большие пятна мокрых загрязнений в Белоцерковской, Винницкой и Черновицкой областях. Однако, как обнаружилось позже, облако прошло в основном только над северной Венгрией вдоль границы с Чехо-Словакией. Второе облако пришло в Венгрию 3—4 мая и третье 6—7 мая 1986 г. В Венгрии дожди были 29 и 30 апреля и 8 и 9 мая, и именно эти дожди вызвали большую часть выпадений радиоактивных продуктов. Пробы почвы, взятые на территории Британского посольства в Будапеште в мае 1986 г., дали самые высокие цифры загрязнения по цезию по сравнению со всеми другими столицами Европы: 8880 Бк/ м^2 для ^{137}Cs и 5300 Бк/ м^2 для ^{134}Cs [17]. Эти же исследователи обнаружили, что уровень загрязнения почвы в одном из районов венгеро-австрийской границы (23 тыс. Бк/ м^2 для ^{137}Cs) был почти в 20 раз выше, чем уровень загрязнения на чехословацко-австрийской границе. В некоторых районах Венгрии загрязнение молока йодом было выше допустимого в начале мая 1986 г.

Точных карт с уровнями загрязнения территории Венгрии цезием или другими радионуклидами я пока не нашел в международной научной литературе. В экспериментальной работе по переносу цезия из кормовых культур в молоко, проведенной в северо-восточном районе Венгрии, сообщалось, что клеверное сено летом 1986 г. содержало в среднем 300 Бк/кг ^{137}Cs . В другом районе среднее содержание цезия в клеверном сене было 2850 Бк/кг [20]. Эти величины соответствуют поверхностным загрязнениям около 5000 Бк/ м^2 . В другом ис-

следовании изучалось общее количество цезия в теле мужчин и женщин в районах вокруг Будапешта, которые считались наиболее загрязненными. Уровень ^{137}Cs начал подниматься вскоре после аварии в Чернобыле и достиг максимума в 1500 Бк на все тело через 1 год, т.е. в 1987 г. (вариации от 500 до 2500 Бк) [21].

Это также сравнительно небольшие величины, особенно если учесть, что в цезиевых пятнах Брянской обл. (уровни загрязнения выше 15 Ки/км^2) средний уровень ^{137}Cs на все тело в августе 1986 г. был 210 тыс. Бк [22]. В августе — сентябре 1986 г. соответствующие цифры для районов вокруг Будапешта варьировали от 500 до 1000 Бк, т.е. были в 200—400 раз ниже, чем в загрязненных районах Брянской обл. Венгерские авторы не приводят расчетов коллективной радиационной дозы на все население страны на 50 лет. По американским расчетам, эта доза равна 13 000 чел.-Зв.

РУМЫНИЯ

Румынские службы радиационной защиты сообщили в МАГАТЭ о выпадении радиоактивного йода 30 мая 1986 г. Однако в последующем румынские исследователи почти не публиковали в международной научной литературе данных об уровнях радиоактивных загрязнений. В пробах почвы Британского посольства в Бухаресте уровни загрязнения были 4300 Бк/м^2 для ^{137}Cs и 2600 Бк/м^2 для ^{134}Cs [17]. Это ставит Бухарест на 4-е место среди столиц Европы после Будапешта, Белграда и Праги. Румыния была включена в число стран, которые в 1986 г. не могли экспортировать свои сельскохозяйственные продукты в страны Европейского сообщества. Этот запрет распространялся на страны со средними уровнями загрязнения радионуклидами выше 5000 Бк/м^2 , что, по расчетам, могло приводить к содержанию цезия в продуктах питания выше 600 Бк/кг . По расчетам американских исследователей, коллективная доза на 50 лет для всего населения Румынии (23 млн.) составит 92 тыс. чел.-Зв, это ставит Румынию на 2-е место после Польши. Однако если учесть, что численность населения в Польше значительно больше, то индивидуальные дозы в обеих странах примерно равны.

Румынские ученые не принимали участия в нескольких конференциях МАГАТЭ и других агентств ООН, посвященных анализу последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Карт распределения радионуклидных выпадений в Румынии не публиковалось. Однако судя по публикации группы румынских ученых, наиболее загрязненным оказался закарпатский район вокруг г. Клуж (Cluj), расположенного между двумя горными хребтами в северной Румынии и к востоку от Молдавии. Здесь в начале мая 1986 г. за счет выпадений йода, цезия и нескольких других радионуклидов уровни загрязнения поверхности достигали 1 млн. Бк/м^2 [23], что, безусловно, приводило к таким уровням загрязнения молока, которые делали его непригодным к прямому употреблению. В Молдавии, как известно из советского отчета МАГАТЭ, в некоторых районах загрязнение молока йодом достигало 15—20 тыс. Бк/л. В румынской части Молдавии проблемы были, несомненно, такими же серьезными. Однако в Румынии не проводились какие-либо серьезные контрмеры по защите населения.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЕВРОПА

К этой группе стран в контексте настоящего обзора можно отнести Австрию, Германию и Швейцарию. Эти страны не были захвачены первым радиоактивным облаком, которое прошло над Скандинавией. Но в последующие дни ветры, дувшие в западном и юго-западном направлениях, приносили радиоактивность в центральную Европу несколько раз, причем и сухие, и «мокрые» выпадения радионуклидов были наибольшими именно в горных районах — аэрозоли, которые в равнинных зонах шли на высоте 1—3 км, оставляли

в горных участках значительную часть взвешенных частиц. Австрия сообщила в МАГАТЭ о приходе первого радиоактивного облака 29 апреля 1986 г., ФРГ и Швейцария обнаружили это же облако над своими территориями 30 апреля [24].

АВСТРИЯ

По суммарным данным НКДАР ООН, которые я уже упоминал в начале обзора [1], Австрия находилась на 2-м месте в мире по эффективной дозе на одного человека в 1-й год после Чернобыльской аварии, уступая только Болгарии. При этом сама эта доза была сравнительно невелика, 0,68 мЗв, т.е. меньше 0,1 бэр. Польский отчет, который я также упоминал раньше, ставит Австрию на 3-е место после СССР и Румынии, одновременно снижая индивидуальную дозу за 1-й год до 4,7 мЗв. По американскому обзору, который я также часто цитировал, Австрия по индивидуальным дозам за 1-й год сказала на 5-м месте после Польши, Румынии, Югославии и Албании, причем сама эта доза несколько выше, составляя 0,9 мЗв только от потребления загрязненных продуктов.

Если обратиться к собственно австрийским исследованиям, которым следует полностью доверять, то в среднем доза на одного жителя в 1-й год составляла около 1 мЗв, причем половина этой дозы приходилась на поглощение загрязненных продуктов: 0,029 мЗв от йода, 0,42 мЗв от цезия и 0,006 мЗв от стронция [25]. В 1-й год в Австрии проводилась довольно интенсивная работа по измерению радиоактивности всех продовольственных продуктов и выбраковка мяса (овцы и ягнята), молока и зеленых овощей, которые были загрязнены. Фермерам было выплачено около 800 млн. шиллингов компенсаций (55 млн. долл.) [26]. Это, безусловно, позволило снизить индивидуальные дозы. Однако в течение 2-го года, когда никаких контрмер уже не проводилось, индивидуальная доза за счет цезия в пищевых продуктах снизилась до 0,079 мЗв на человека. По стронцию снижение его «вклада» в дозу было не столь заметно (лишь на 30%) [27]. По цезию 30% «пищевой» дозы у взрослых и 70% у детей создавалось за счет молока. Авторы дают раскладку по всем видам продуктов. В Австрии также проводились довольно активные меры по применению разнообразных методов обработки почвы и использования удобрений, разработанных для уменьшения поступления радиоактивного цезия в растения. Это было связано с тем фактом, что некоторые районы Австрии оказались особенно сильно загрязненными радионуклидами в результате местных дождей. Это были горные альпийские районы с обширными альпийскими лугами, но с незначительным населением, а также район г. Зальцбурга, который является очень важным местом туристического паломничества (здесь родился Моцарт). На некоторых альпийских лугах уровни загрязнения цезием доходили до 100—200 тыс. Бк/м² (от 3 до 5 Ки/км²), что делало их непригодными для выпасов скота. В провинции Зальцбург, на площади около 5000 км², средние выпадения ¹³⁷Cs составили около 70 тыс. Бк/м² на плато и в долинах [28] (город расположен на высоте около 900 м над уровнем моря). Население Зальцбурга составляет около 150 тыс. человек, всего же в провинции живет около 380 тыс. человек. Если учесть, что в Вене, где живет около 1,5 млн. человек, выпадения цезия были на уровне 2000 Бк/м², т.е. в 35 раз ниже, чем в Зальцбурге, становится очевидным, что расчет дозы радиации «в среднем» на одного австрийца столь же мало показателен, как и расчет средней дозы на одного жителя СССР, принятый НКДАР. Если принять во внимание защитные меры, принятые австрийским правительством по ограничению потребления загрязненных продуктов, то только от внешнего облучения сельские жители окрестностей Зальцбурга могли получить в 1-й год после аварии на Чернобыльской АЭС около 5 мЗв на человека, т.е. 0,5 бэр. В некоторых участках уровни были выше. Поэтому городские власти установили на улицах Зальцбурга дози-

метры, наблюдения за которыми было доступно населению. Именно для этой провинции были предприняты попытки определить реальную дозу облучения биологическим путем — по уровню хромосомных аномалий в лимфоцитах. Однако 1 бэр на человека — это все же слишком низкая доза для биологической дозиметрии.

В последующие годы австрийские радиобиологи провели большую серию исследований по распределению радионуклидов в растительных и животных сообществах. Как и следовало ожидать, в альпийских районах с высокими уровнями загрязнения цезием не только растения, но и животные имели очень высокие концентрации этого изотопа. При этом у животных уровни радионуклидов снижались медленнее, чем у растений, а у оленей и диких кабанов они увеличивались до 1988 г., достигая 10—17 тыс. Бк/кг мышечной ткани [29]. Частично это было связано с очень высокой радиоактивностью в грибах, которые, как известно, поглощают радионуклиды в основном на 2—3-й год из разлагающейся лесной подстилки.

В сельскохозяйственных продуктах и в молоке, поступавших на молочные фабрики в Зальцбурге, содержание цезия к 1989 г. уменьшилось примерно в 10 раз за счет контрмер и дезактивации пастбищ. Содержание цезия у скота, имевшего выпасы в альпийских лугах, уменьшилось за 3 года незначительно, лишь на 20—60%. В одном районе альпийских лугов содержание радиоактивного цезия в молоке оставалось на одном и том же уровне до конца 1989 г. За пределами СССР именно жители альпийских районов Австрии получают из расчета 50 лет максимальную дозу от черновыльских радионуклидов. Но она все же не превысит 5 бэр за всю жизнь, т.е. останется в пределах «допустимой» по международным нормам.

ГЕРМАНИЯ

Из всех 12 стран Европейского Экономического Сообщества, Западная Германия подверглась наибольшему загрязнению от черновыльских радиоактивных выпадений. По данным НКДАР ООН, Греция, Италия и Норвегия пострадали сильнее по индивидуальным дозам за 1-й год. При расчетах средних уровней загрязнения цезием-137 территории ФРГ со средней цифрой в 6000 Бк/м² также стоит на 2-м месте после Италии (6500 Бк/м²). Однако в Германии наиболее сильно загрязненными оказались очень густо населенные районы южной части страны на границах с Австрией и Швейцарией, где в конце апреля и начале мая 1986 г. шли сильные дожди. По американским расчетам, коллективная доза на 50 лет для всего населения ФРГ равна примерно 58 000 чел.-Зв — это самая высокая цифра для ЕС, даже если учесть, что ФРГ имеет самое большое население среди всех стран Европы. Южные районы ФРГ имели много «цезиевых пятен», в которых содержание ¹³⁷Cs и ¹³⁴Cs было выше 60 тыс. Бк/м², т.е. приближалось к 2 Ки/км². Восточная Германия и вся северная и центральная части ФРГ оказались в основном затронутыми только «сухими» выпадениями, которые давали уровни загрязнений не выше 2—10 тыс. Бк/м², что не требовало применения каких-либо мер по ограничению потребления сельскохозяйственных продуктов. Германия имеет в Европе наиболее высокоразвитую инфраструктуру научных исследований. Поэтому именно в Германии выполнено в 1986—1990 гг. наибольшее число разнообразных радиобиологических, радиозкологических и радиологических исследований, обзору которых можно было бы посвятить отдельную обширную статью. Правительство ФРГ опубликовало в 1987 г. довольно подробный отчет о радиобиологических (сельскохозяйственных) и радиологических последствиях аварии в Чернобыле [30]. Университеты разных немецких провинций, «земель», проводили в 1986—1990 гг. подробные исследования о путях распространения черновыльских радионуклидов по экологическим цепям в фауне и флоре и по пищевым цепям человека, рассчитывая циф-

ры относительной роли в общей дозе самых разнообразных пищевых продуктов, а также воды разных рек и озер. Поскольку, однако, максимальные уровни загрязнений наблюдались в южной части Германии вокруг Мюнхена, то я ограничусь кратким обзором именно этих данных.

В Мюнхене анализ проб воздуха на присутствие радионуклидов начался 29 апреля 1986 г. Главную опасность представлял радиоактивный йод, максимальная концентрация которого в воздухе была зарегистрирована к вечеру 30 апреля на уровне 210 Бк/м^3 . Для сравнения можно указать, что, по данным советского отчета в МАГАТЭ на совещании 25—29 августа 1986 г., 30 апреля и 1 мая 1986 г. в пункте постоянных наблюдений сети Госкомгидромета Барышевка на расстоянии 140 км от Чернобыльской АЭС на юго-восток концентрация йода в воздухе достигла максимума в $8,3 \cdot 10^{-9} \text{ Ки/м}^3$, т.е. 320 тыс. Бк/м^3 . Это было более чем в 1000 раз выше концентрации йода в районе Мюнхена. 2 мая концентрация йода упала в Барышевке до 37 тыс. Бк/м^3 и к 5 мая до 370 Бк/м^3 (табл. 5.4, приложение № 5 к «Рабочему документу» советского отчета). Для Киева советский отчет дает цифры по йоду в Ки/км^2 за 1 сут, что, очевидно, отражает либо приземный слой воздуха, либо выпадения на поверхность. При пересчете на беккерели максимум также приходится на 1—2 мая и составляет $10,3 \text{ Ки} (\text{км}^2 \cdot \text{сут})^{-1}$, т.е. около 400 тыс. Бк/м^2 (таблица 5.5) [31]. Таким образом на пути с Украины до Мюнхена радиоактивность воздуха по йоду была разбавлена почти в 1000 раз. В Мюнхене и в его окрестностях шли дожди 30 апреля. Эти дожди уменьшили содержание радионуклидов в воздухе за счет их смыва на поверхность почвы. По цезию в районах вокруг Мюнхена максимальная концентрация в воздухе также была к вечеру 30 апреля и 1 мая, но она не превышала 20 Бк/м^3 . В Барышевке максимум по цезию в воздухе составлял 74 тыс. Бк/м^3 , т.е. в 3000 раз выше. Йод обладает наибольшей летучестью, больше половины всего йода над Мюнхеном было в форме газа, а не аэрозоля. Радиоактивное облако снова прибыло в район южной Германии 25 мая 1986 г. после того, как оно облетело весь земной шар, совершив кругосветное путешествие. Йода в нем уже почти не было, а концентрация цезия упала до нескольких мБк/м^3 , т.е. снизилась в 5000 раз [32]. В начале мая 1986 г. в этом же районе содержание стронция-89 было около 1 Бк/м^3 , а стронция-90 в 20 раз меньше. Плутоний был обнаружен в количествах, измеряемых в мкБк/м^3 .

Выпадения на почву были довольно значительными. Максимальные концентрации йода на поверхности почвы в результате дождей были около 400 тыс. Бк/м^2 . Это привело к запретам выпасов скота и выбраковке молока и многих других сельскохозяйственных продуктов. Максимальные концентрации стронция были 2000 Бк/м^2 для ^{89}Sr и 180 Бк/м^2 для ^{90}Sr . Эти цифры были ниже, чем те, которые регистрировались здесь в прошлом от испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1960-х гг. По цезию чернобыльские выпадения были в несколько раз выше тех, которые накопились в этом районе от испытаний ядерного оружия.

В Германии существовали довольно строгие нормативы по загрязнению продуктов. Для молока загрязнение выше 500 Бк/л считается недопустимым. В Баварии (столица Мюнхен) эти цифры были превышены только при загрязнении радиоактивным йодом (до 1000 Бк/л для коровьего молока и 10 тыс. Бк/л для овечьего молока). Эти цифры держались до 5—6 мая.

Расчеты индивидуальных доз были сделаны отдельно не только для разных районов, но и с учетом «вклада» различных продуктов питания. При этом расчеты делались отдельно для детей и для взрослых, учитывая разницу в диете. Для детей чернобыльская максимальная доза за 1-й год была зарегистрирована для альпийских районов. Она равнялась $1,2 \text{ мЗв}$, т.е. $0,12 \text{ бэр}$. Для центральной и северной зон Германии и для бывшей ГДР дозы были в 6 раз меньше.

В 1987 г. немецкие эксперты также провели ориентировочный расчет эффективных доз на последующие 50 лет. Обычно они были в 3 раза выше доз

за 1-й год, например 3,8 мЗв для альпийских районов Баварии. Это делалось на основании теоретических ожиданий быстрого снижения в содержании радионуклидов. Однако в 1987—1990 гг. происходило исчезновение или уменьшение содержаний более короткоживущих радионуклидов, тогда как концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве снижались очень медленно и специфически для разных типов почв. Было выполнено множество исследований по содержанию радионуклидов в элементах природных биоценозов, максимальные уровни были, как правило, во мхе, грибах и лесной подстилке. В почве за 3 года миграции цезия и стронция почти не было, они оставались в самом верхнем слое. Исследования также показали наличие очень большой пестроты в уровнях радиоактивности на одной и той же территории. Иногда в пределах 1 км² наблюдались участки с уровнями радиоактивности, различающимися в 30 раз. Это очень медленное снижение радиоактивности долгоживущих радиоизотопов, безусловно, делает необходимым пересмотр доз на всю жизнь в сторону их увеличения. Однако даже в этом случае для наиболее загрязненных районов предгорьев Альп дозы за 50 лет от чернобыльских выпадений не превысят 10 мЗв, т.е. 1 бэр [33, 34].

ШВЕЙЦАРИЯ

Географическое положение Швейцарии в центре Альпийских гор в значительной степени уменьшило уровень загрязнения ее территории от чернобыльских выпадений. Альпийские районы вокруг Швейцарии в Австрии, Германии и Италии поглощали значительную часть радионуклидов из того облака, которое пришло в этот район 30 апреля, так как наибольшая концентрация радиоактивного аэрозоля была на высоте от 1 до 2 км. Поэтому в Швейцарии радиоактивные выпадения были меньше, чем в смежных с ней Альпийских районах других стран. Овцы на альпийских лугах в Швейцарии накапливали цезий, но уровни были невысокими, и никаких мер по их защите не требовалось. В некоторых районах Шотландии и Уэльса в Великобритании овцеводство испытало больше проблем, чем в Швейцарии.

Напротив, от глобальных выпадений радиоактивных стронция и цезия, которые происходили в 1950—1960-х гг. в связи с испытаниями ядерного оружия в атмосфере, именно Швейцария как горная страна пострадала больше, чем другие страны Европы. В этом случае радионуклиды уходили на большую высоту, и именно горные страны, такие, как Швейцария и Норвегия, получали больше выпадений, чем равнинные районы.

ЮЖНАЯ ЕВРОПА

Район южной Европы, который оказался существенно затронутым чернобыльскими выпадениями, включает Болгарию, Югославию, Италию и Грецию. Первые три облака, двигавшиеся из Чернобыля в северо-западном, северном и западном направлениях, не затронули юг Европы. Однако после перемены направления ветра в юго-западном и южном направлениях к вечеру 29 апреля и позже южные страны также были захвачены выпадениями радионуклидов. 1 мая, как известно, объем выбросов радиоактивных продуктов из разрушенного реактора стал увеличиваться в результате нового разогрева ядерного топлива. Этот разогрев и увеличение выбросов продолжались до 5 мая. Загрязнениями была захвачена и Турция.

БОЛГАРИЯ

Общий отчет НКДАР ООН, который я упоминал несколько раз, ставит Болгарию на 1-е место в Европе (и в мире) по эффективной индивидуальной дозе, полученной населением в 1-й год после аварии в Чернобыле. Эта доза рассчитана на уровне между 0,7 и 0,8 мЗв. Эти данные не совпадают с расче-

тами американских, польских и других ученых, которые основаны на общем количестве выпадений радионуклидов на территории разных стран. В этом случае Болгария оказывается в лучшем положении, чем Польша, Румыния и Югославия. Однако болгарские ученые не подвергают сомнению свое первенство в Европе. Они отмечают, что, хотя на Болгарию выпало примерно в 3 раза меньше радиоактивного цезия, чем на Польшу, что создало одинаковые концентрации в пересчете на 1 км^2 территории, в Болгарии, как в южной стране, весь скот в начале мая был уже на полях и растительность на лугах и пастбищах была намного более значительной, чем в Польше или в Австрии. В Польше и в Австрии, а тем более в Скандинавии в начале мая было решено продлить период стойлового содержания скота и обеспечивать животных сеном прошлогоднего урожая. Это позволило уменьшить загрязнение животных, особенно в период максимальных концентраций радиоактивного йода. В Болгарии эта мера оказалась невозможной, и, кроме того, дожди в начале мая также повысили уровень почвенных загрязнений. В Болгарии также были плохо налажены контролеры, такие, как выбраковка молока, мяса и т.п.

Южная часть Болгарии оказалась более загрязненной, чем северная. Средний уровень цезия в молоке в Южной Болгарии в мае 1986 г. был 400 Бк/л. Он понижался в течение лета, но стал снова повышаться осенью и зимой 1986/87 гг., несомненно, потому, что было загрязнено сено и корма, заготовлявшиеся летом 1986 г. Существенным было также загрязнение цезием мяса овец [35]. Измерения поступления радионуклидов в организм человека показали, что содержание цезия в среднем варьировало в южных районах от 150 до 300 Бк/кг в 1987 г., т.е. было равно от 7 до 15 тыс. Бк на все тело. Это было намного выше, чем аналогичные показатели для наиболее загрязненных районов Венгрии. В Северной Болгарии летом 1986 г. поверхностное загрязнение было в среднем на уровне 10 тыс. Бк/ м^2 , тогда как в Южной Болгарии загрязнения превышали 30 тыс. Бк/ м^2 и имелись «цезиевые» пятна с уровнями до 100 тыс. Бк/ м^2 , т.е. около 3 Ки/ км^2 . Болгарские официальные данные об уровнях облучения населения не рассчитывают его по отдельным районам, как это было сделано в ФРГ. В среднем один ребенок в Болгарии получил в 1-й год дозу в 0,69 мЗв и один взрослый — 0,58 мЗв [36]. По этим расчетам последующие годы могли прибавить к этой дозе не более 15—20%. Индивидуальная доза от естественного фона в Болгарии равна 2,28 мЗв в год. Это показывает относительную незначительность «чернобыльской» дозы. Однако доза на 50 лет в этих расчетах явно занижена, особенно по цезию. Снижение радиоактивности, связанной с цезием-137 в среде, идет медленно. Кроме того, совершенно очевидно, что население, живущее в районах «цезиевых» пятен с загрязнениями выше 50 тыс. Бк/ м^2 , и за 1-й год, и при расчетах на 50 лет получило и получит намного большую относительную дозу, безусловно, превышающую так называемый «естественный» уровень облучения от природных источников и выпадений, связанных с испытаниями ядерного оружия в прошлом.

ЮГОСЛАВИЯ

Югославия, как горная страна, имеющая сравнительно большую территорию и значительную пропорцию сельского населения, оказалась серьезно затронутой чернобыльскими радионуклидными выпадениями. По данным различных международных агентств (НКДАР ООН, МАГАТЭ, ВОЗ) и по американскому и польскому обзорам последствий Чернобыля, Югославия стоит позади нескольких других стран (в разных комбинациях в каждом отчете). Однако собственные югославские официальные данные, по существу, ставят Югославию на 1-е место в Европе по средней индивидуальной дозе облучения от внешних и внутренних источников в 1-й год после аварии в Чернобыле. Это связано с тем, что различные международные агентства учитывали общие модели выпадения радио-

нуклидов и не принимали во внимание того, что Югославия — это единственная в Европе в основном сельскохозяйственная страна с мелким индивидуальным фермерством. В Югославии существовали ограничения на владение землей, в среднем по 10 га на семью. Это мелкое и часто натуральное сельское хозяйство не позволяло вводить в Югославии эффективные контрмеры, уничтожать загрязненные животноводческие продукты или запрещать употребление в деревнях загрязненных овощей. В стране просто не было альтернативных источников снабжения.

Главные выпадения радионуклидов в Югославии происходили с 1 по 10 мая 1986 г. Подробной карты выпадений пока не было опубликовано. Средние загрязнения территории йодом варьировали от 10 до 100 тыс. Бк/м² и цезием от 2 до 10 тыс. Бк/м². Однако в горных районах были многочисленные пятна с более высокими уровнями, особенно в местах выпадения дождей. Белград по уровню загрязнений цезием, измеренных на территории Британского посольства, оказался на 2-м месте в Европе после Будапешта. В Белграде в мае 1986 г. было зафиксировано 4400 Бк/м² ¹³⁴Cs и 7300 Бк/м² ¹³⁷Cs [17]. Югославский отчет о Чернобыле, опубликованный в 1990 г. (до 1989 г. подробных данных по Югославии не было), свидетельствует о том, что в мае — декабре 1986 г. содержание цезия-134 и -137 в зеленых овощах колебалось в разных районах Югославии от 1 до 12 тыс. Бк/кг. Содержание цезия в баранине также было высоким (вариации от 2 до 10 тыс. Бк/кг). В молоке на большей части территории Югославии во второй половине 1986 г. содержание цезия превышало 1000 Бк/л, достигая 3000 Бк/л [37]. По этим же данным, содержание цезия в баранине в 1987 г. снизилось в 30—50 раз, а в 1988 г. почти в 100 раз. Такое резкое снижение радиоактивности мяса свободно пасущихся животных объяснить очень трудно, так как цезий не исчезает из среды с такими скоростями. Это также противоречит результатам исследований в других странах. Это же относится и к молоку. В одном из пунктов (не названном по географическому имени, а обозначенному лишь как № 3) югославский отчет дает цифру загрязнения молока по цезию-137 в мае — декабре 1986 г. на уровне 1520 Бк/л. В 1987 г. в этом же пункте содержание ¹³⁷Cs в молоке снизилось до 4,6, а в 1988 — до 2,25 Бк/л, т.е. почти в 800 раз. Такое быстрое удаление цезия из среды, при отсутствии к тому же попыток дезактивации, просто мало вероятно.

Эффективная индивидуальная доза для жителей разных районов Югославии рассчитана авторами только по поглощению четырех видов пищи (зеленые овощи, баранина, телятина и молоко). Она варьирует от 500 до 2000 мкЗв по цезию и от 100 до 2100 мкЗв по йоду на щитовидную железу. Авторы не приводят средней индивидуальной дозы по всем источникам внешней и внутренней радиации на одного жителя. Но они отмечают, что она превысила в 1986 г. среднюю годовую дозу от естественного фона радиации на 100—200%. Это говорит о том, что она в ряде районов достигала 3—4 мЗв, т.е. приближалась к 0,5 бэр. Болгарские отчеты специально подчеркивали, что в Болгарии чернобыльская доза в 1986 г. была ниже природной, от естественного фона — почти в 3—4 раза. Таким образом, югославская средняя индивидуальная доза за 1-й год оказывается в 7—8 раз выше болгарской, что мало вероятно.

Кто именно из этих двух групп исследователей допускает ошибку, разобраться пока трудно. В то же время независимых экологических исследований по этим двум странам, которые могли бы прояснить картину, практически не было.

ГРЕЦИЯ

Радиоактивное облако достигло северо-восточных районов Греции только 2 мая 1986 г. Эта же масса воздуха уже прошла над Румынией, Болгарией и Югославией, и поэтому концентрация аэрозольных и газовых радионуклидов была в ней сильно разбавлена. Измерявшаяся в Греции радиоактивность воздуха

в начале мая была в 5—6 раз ниже, чем в затронутых чернобыльскими выпадениями районах Австрии, Венгрии или ФРГ [38]. Однако именно в Греции наблюдалась в мае — июне 1986 г. наибольшая паника, выразившаяся в резком увеличении искусственных аборт. Это было связано с тем, что и правительство, и доктора распространили специальное предупреждение для беременных женщин, рекомендуя им не пить молоко и не употреблять в пищу зеленых овощей, сильно загрязненных радиоактивным йодом. Вместо того, чтобы следовать этим рекомендациям, многие беременные женщины предпочитали делать аборт. Медики беспокоились о том, что радиоактивность будет проходить в женское молоко и влиять на новорожденных и младенцев. Поэтому женщинам, имевшим грудных детей, было также рекомендовано использовать сухое и консервированное молоко, заготовленное до мая 1986 г. Последующие исследования показали, что отмена этих рекомендаций в конце 1986 г. привела к небольшому увеличению содержания цезия в женском молоке, но величины были слишком малы, чтобы оказать какое-либо заметное влияние на младенцев [39].

Основному загрязнению в Греции подверглись сельскохозяйственные районы вокруг г. Салоники. В тех районах, где прошли дожди, уровни загрязнений цезием поверхности травяной растительности были от 10 до 30 тыс. Бк/м² и до 20 тыс. Бк/кг на сухой вес растительной массы [40].

ИТАЛИЯ

В Италию массы радиоактивного воздуха проникли уже после того, как они прошли над Австрией, Югославией и Швейцарией. В основном радиоактивное облако распространилось над северной Италией, где загрязнения поверхности превышали 5000 Бк/м². В центральной и южной Италии уровни загрязнений были ниже 5000 Бк/м², и поэтому не требовалось никаких мер защиты или выбраковки сельскохозяйственных продуктов. Среди стран Европейского сообщества Италия, по данным американских расчетов и по расчетам Британского национального комитета радиологической защиты, оказывается на 2-м месте после ФРГ по индивидуальным дозам за 1-й год после Чернобыля и по коллективной дозе на все население за 50 лет (52000 чел.-Зв). В мае 1986 г. в Северной Италии были введены ограничения на употребление свежего молока и зеленых листовых овощей. Это была контрмера на радиоактивный йод. Поскольку Италия экспортирует большое количество продовольствия и вина в другие страны, в последующие годы в Италии были проведены многочисленные исследования уровней загрязнения пищевых продуктов и конечных продуктов пищевой промышленности (макароны, мука и т.п.) и виноделия. В основном эти исследования отмечали, что дозовые нагрузки, которые люди могут получить от потребления этих продуктов, являются очень незначительными и измеряются в мкЗв. В 1987 г. в различных видах макаронных изделий и хлеба количество цезия измерялось десятками Бк/кг. Максимум, 80 Бк/кг, был в апреле — июне 1987 г., минимум, 20 Бк/кг, в октябре — декабре [41].

Однако во второй половине 1986 г. уровни загрязнений фруктов и овощей были выше, так как они загрязнялись поверхностными выпадениями, а не через корневое поглощение из почвы, как злаковые. В мае — июне загрязнение фруктов цезием даже в южной Италии было выше 1000 Бк/кг. Виноград, созревающий в сентябре, имел уже в 5 раз меньший уровень радиоактивного цезия [42]. Измерялась также радиоактивность моллюсков и других типов морской пищевой продукции (особенно вдоль Адриатического побережья) [43]. Как и в Греции, итальянские исследователи обращали особое внимание на содержание цезия в женском молоке и даже в плацентах [44]. Но уровни радиоактивности были очень незначительными. Главный экономический ущерб от Чернобыля в Италии, так же как и в Греции, был не столько от введения огра

ничений на потребление сельскохозяйственных продуктов, сколько от резкого уменьшения американского туризма в этот район Южной Европы в 1986 г.

В страны Южной Европы входит также и Албания. Однако я пока не смог найти научных работ албанских авторов по проблемам чернобыльских загрязнений. По расчетам американских авторов, индивидуальные дозы за 1-й год и на будущие 50 лет в Албании были близкими к аналогичным показателям в Австрии.

ЗАПАДНАЯ ЕВРОПА

По сравнению с северной, центральной и южной частями Европы, западная часть Европы (Франция, Голландия, Бельгия, Люксембург, Великобритания, Ирландия, Испания и Португалия) пострадала значительно меньше. В связи с этим нет необходимости рассматривать в обзоре положение отдельных стран. Как научный сотрудник Британского института, я накопил наиболее обширную литературу по чернобыльским выпадениям в Великобритании. При этом мой архив по Британским островам включает не только научные статьи, но и множество статей из газет и общих журналов, отчеты комиссий, доклады служб здравоохранения и сельского хозяйства и т.д. В Великобританию после сложных блужданий над континентом пришло 2 мая 1986 г. самое первое облако, которое раньше прошло над Скандинавией. Затем в течение 2 дней и Великобританию, и Ирландию захватывали и другие массы радиоактивного воздуха. Подробное описание климатических условий над Европой в период 26 апреля — 6 мая 1986 г. и динамика распространения масс радиоактивного воздуха в Европе даны в специальном обзоре [45]. Загрязненными оказались лишь те районы, в которых выпадали дожди. В Великобритании это были некоторые территории в Камбрии (северо-запад) и в Шотландии (север). Сравнительно небольшие территории (около 1000 км²) были загрязнены цезием на уровнях от 15 до 20 тыс. Бк/м² и лишь около 300 км² имели поверхностное загрязнение несколько выше 20 тыс. Бк/км², что вызывало запреты на продажу мяса молодых ягнят и правительственные компенсации фермерам. Проблемы сохранялись и в 1987-м, и в 1988 гг. Внешняя радиация не вызывала большой тревоги, так как эти районы из-за своего скалистого происхождения имеют заметно повышенные уровни естественной радиации от гранитных пород и от естественного радона. Чернобыльские выпадения добавляли к этому и без того повышенному фону очень немного. Всего на Великобританию выпало около 12 тыс. Ки цезия в «сухих» и «мокрых» вариантах, что в 8 раз меньше, чем выпало на Швецию и в 3 раза меньше, чем выпало на Австрию, территория которой значительно меньше. Соответственно этому и индивидуальные дозы для жителей Великобритании за 1-й год и на 50 лет оказались в 20 раз меньше индивидуальных доз жителей Австрии. Франция, несмотря на свою относительно большую территорию, почти в 2 раза превышающую территорию ФРГ, получила в 2 раза меньше цезия и других радионуклидов, чем ФРГ. Коллективная доза на 50 лет для всего 54-миллионного населения Франции рассчитана в размере 12 тыс. чел.-Зв, что в 4 раза ниже коллективной дозы населения ФРГ. Франция из всех стран мира находится в наибольшей зависимости от атомной энергии. Около 70% всего электричества во Франции вырабатывается на АЭС. Поэтому французские исследователи, публиковавшие работы по чернобыльским выпадениям в научной литературе, старались в отличие, например, от австрийских или шведских авторов подчеркивать не то, как много по отношению к естественному фону добавили в стране чернобыльские радионуклиды, а обращать внимание на то, что природный уровень радиации во Франции существенно не изменился. Во Франции так же, как и в Великобритании (и в других странах, имеющих горные районы и залежи урана), есть географические зоны с заметно повышенными уровнями естественной радиации. Район гранитных пород на Западе Франции имеет особенно вы-

сокие уровни радиоактивности и большие выделения радиоактивного газа радона. В домах, построенных на гранитных фундаментах, население получает здесь годовую дозу около 12 Зв, что близко к дозам, получаемым шахтерами урановых рудников [46]. Индивидуальные дозы жителей Бенилюкса были примерно такими же, как и во Франции. Испания и Португалия почти не были затронуты чернобыльскими выпадениями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из других стран вне СССР авария в Чернобыле имела негативные экономические последствия только в Турции, где подверглись загрязнению цезием плантации ореховых деревьев и чая, расположенные вдоль берега Черного моря [47]. В некоторых районах Турции также было загрязнено радиоактивным йодом молоко до уровней, выше предельно допустимых по нормативам ВОЗ. Однако академические исследования выпадений различных чернобыльских радионуклидов проводились во многих странах вне Европы. Особенно много исследований было осуществлено в Японии, США и в Китае. Отдельной важной проблемой и в Европе, и в других странах оказалась судьба и поведение так называемых «горячих частиц». При испытаниях ядерного оружия температура в эпицентре взрыва достигает 1 млн.[°]С. В этих условиях происходит испарение радионуклидов. При взрыве реактора в Чернобыле в атмосферу было выброшено огромное количество радиоактивного топлива в диспергированном виде и в форме аэрозолей, состоящих из оплавленных частиц разного размера и разного состава. Кроме того, оказалось, что в выбросе были и радионуклиды, которые не являются продуктами деления урана, например радиоактивное серебро и поведение которых в природных средах ранее не изучалось. Появление таких изотопов было результатом «наведенной» радиоактивности в результате нейтронного облучения различных материалов. Эти направления исследований чернобыльских выпадений я постараюсь рассмотреть в будущем в отдельном обзоре. Здесь же в заключение следовало бы сопоставить советские данные о загрязнениях среды на Украине, в Белоруссии и в РСФСР с данными по западным странам.

Точное сравнение советских и западных данных достаточно трудно из-за различных применяемых методик и других, более общих причин. В западных странах, как мы видели, уровни загрязнений и территорий, и продуктов питания были даны по месяцам и годам, начиная с конца апреля 1986 г. Максимальные загрязнения по йоду приходились на май, а по цезию на июнь — сентябрь 1986 г. В последующем концентрации радионуклидов в среде снижались. Особенно быстро снижалась радиоактивность за счет распада более короткоживущих радионуклидов, например рутения-103 и -106, стронция-89, циркония-95 и других, количества которых в первые месяцы после аварии превышали количества радиоактивного цезия. Для СССР величины загрязнений различных заселенных территорий, например, цезием, выраженные в Ки/км² или в Бк/м², были впервые опубликованы только в 1989 г. и характеризовали ситуацию конца 1988 г. Именно в этот период, спустя 3 года после аварии, стали известны очертания загрязненных районов в окружающих Чернобыль областях и уровни в них радиоактивного цезия. В научной литературе эти данные появились только в 1990 г. К зоне строгого контроля, включавшей 679 населенных пунктов, были отнесены территории с уровнями загрязнения по цезию выше 0,56 МБк/м², т.е. выше 560 тыс. Бк/м² в конце 1988 г. [48]. При этом население оставалось жить и работать и в «цезиевых» пятнах с загрязнениями выше 40 Ки/км², т.е. с уровнями выше 1500 тыс. Бк/м². Ни в одном из загрязненных районов Европы таких уровней цезия не было не только в 1988 г., но и в 1986 г. Для 1988 г. эти величины превышают самые горячие «цезиевые» пятна в Восточной и Центральной Европе в 100 раз и более. Но и в 1986 г. изотопный состав

вокруг Чернобыля был иным, чем на далеких расстояниях. Ближе к месту аварии было намного больше менее летучих радионуклидов, например стронция. Кроме двух больших контингентов людей, подвергшихся наибольшему эффекту радиации, эвакуированных из 30-километровой зоны (116 тыс. человек), и населения зоны строгого радиологического контроля в СССР имеется также большой контингент людей, около 500 или 600 тыс. человек, которые принимали непосредственное участие в работах по «ликвидации последствий» и которые, судя по многим косвенным данным, часто получали большие дозы, чем коренное население загрязненных районов. Расчеты доз требуют также точных сведений о величинах загрязнения пищевых продуктов. Этих данных также пока нет. Расчеты Института биофизики Минздрава СССР, доложенные на симпозиуме в МАГАТЭ, показывают, что к 1989 г. 43 602 человека, проживающих в зоне строгого контроля, имеют перспективу получить от 0,35 до 0,5 Зв за 70 лет и 22 646 человек могут получить дозы выше 0,5 Зв. Поскольку это превышает новый советский норматив в 35 бэр за всю жизнь, то эти контингенты подлежат отселению. 179 330 человек этой зоны получают индивидуальные дозы ниже 0,35 Зв, но, очевидно, выше 0,25 Зв [49]. Все эти данные не дифференцированы по возрастным группам. Однако очень приблизительно можно подсчитать, что только эта группа жителей зоны жесткого контроля (около 250 тыс. человек) получит коллективную дозу на всю жизнь в 60 тыс. чел.-Зв, что равно коллективной дозе всего населения ФРГ. Если принять, что отношение коллективных доз жителей «цезиевых» пятен к коллективным дозам всего населения страны в Белоруссии и на Украине примерно такое же, как и в Австрии, ФРГ или Швеции, то коллективные дозы для населения европейской части СССР только по цезию окажутся намного более высокими, чем это было рассчитано в 1988 г. Институтом биофизики Минздрава СССР. Я, однако, пока воздерживаюсь от попыток давать какие-либо расчеты, так как для этого необходимо иметь более точные данные по 1986—1987 гг., которые, безусловно, существуют, но пока не опубликованы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bennet B.G. Worldwide radiation exposure from the Chernobyl accident // *Environmental Contamination and a Major Nuclear Accident*. V. 2. Vienna: IAEA 1990. P. 251—260.
2. Anspaugh L.R., Catlin R.J., Goldman M. The global of the Chernobyl accident // *Science*. 1988. V. 242. P. 1512—1519.
3. Ильин Л.А., Павловский О.А. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и меры, принятые с целью их смягчения // *Атомная энергия*. 1988. Т. 65. Вып. 2. С. 119—129.
4. Zarnowiecki K. Analysis of Radioactive Contamination and Radiological Hazards in Poland after the Chernobyl Reactor Accident Report CLOR № 120./0 Warsaw. 1988.
5. Ильин Л.А., Балонов М.И. и др. Экологические особенности и медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС // *Мед. радиол.* 1989. Т. 34. № 11. С. 59—81.
6. Gudiksen P.H., Harvey T.F., Lange R. Chernobyl source term, atmospheric dispersion and dose estimation // *Health Physics*. 1989. V. 57. P. 697—706.
7. Medvedev Zh.A. The Legacy of Chernobyl Oxford Basil Blackwell. 1990. 352 p.
8. Saxen R., Rantavaara A., Arvela H., Aaltonen H. Environmental radioactivity in Finland after the Chernobyl accident // *Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident*. V.1. Vienna: IAEA, 1990. P. 23—29.
9. Arvela H., Narkkanen M., Lemmela H. Mobile survey of environmental gamma radiation and fall-out levels in Finland after the Chernobyl accident // *Radiation Protection Dosimetry*. 1990. V. 32. № 3. P. 177—184.
10. Tillander M., Rahola T., Jaakkola T., Suomela M. Radiocesium in Finnish Lapps after Chernobyl // *Fachverb. Strahlenschutz*. (Ber.) 1989. FS 421—426.
11. Harjulehto T., Aro T., Ruta H. et al. The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland // *Brit. Med. J.* 1989. V. 298. P. 995—997.
12. Gunnerd T.B., Blakan I., Ugedal T., Skogland T. Freshwater and alpine ecosystems response to Chernobyl fallout in Norway // *Environmental Contamination Following A Major Nuclear Accident*. V. 1. Vienna: IAEA, 1990. P. 59—67.
13. Strand P., Brynildsen L.I., Harbitz O., Tveten U. Measures introduced in Norway after the Chernobyl accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 191—202.

14. Strand P., Boe E., Harbitz O. Dietary changes and doses from food in some Norwegian population groups after the Chernobyl accident // Environmental Contamination Following a Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 319—326.
15. Johanson K.J., Karlen G., Bertilsson J. The transfer of radiocaesium from pasture to milk // Science of Total Environment. 1989. V. 85. P. 73—80.
16. Johanson K.J., Bergstroem R. Radiocaesium from Chernobyl in Swedish moose // Environmental Pollution. 1989. V. 61. P. 249—260.
17. Cambray R.S., Cawse P.A. et al. Observations of radioactivity from the Chernobyl accident // Nuclear Energy. 1987. V. 26. № 2. P. 77—101.
18. Drabova D., Rulik P., Malatova I. et al. Monitoring of fallout radionuclides in milk in Czechoslovakia after the Chernobyl accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 93—96.
19. Malatova I., Bucina I., Cespirova I. et al. Committed effective dose equivalents from internal contamination of the Czechoslovak population after the Chernobyl accident // Radiation Protection Dosimetry. 1989. V. 28. P. 291—301.
20. Keszthelyi Z., Jonson J.E. et al. Transfer of ^{137}Cs from Chernobyl fallout to meat and milk in Hungary // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 173—180.
21. Kerekes A., Andrasi G. et al. Whole body radiocaesium content in Hungarian individuals after the Chernobyl accident // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 359—361.
22. Konstantinov Yu.O., Bruk G.Ya. et al. Caesium radionuclide body contents and radiation doses to residents in the RSFSR territory affected by radioactive contamination following the Chernobyl accident // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 1. Vienna: IAEA, 1990. P. 81—82.
23. Cosma C., Salagean M., Pantelica A. Long-life radioisotopes in radioactive deposits of Clui-Napoca city area // Stud. Univ. Babes-Bolyai. Phys. 1988. V. 33(2). P. 65—70.
24. Salo A., Daglich J. Response to an accident in theory and in practice // Environment International. 1988. V. 14. P. 185—200.
25. Mück K. Contamination of food in the first and second year after the Chernobyl accident and its derived dose to the Austrian population // Österreich. Forschungszentrum Seibersdorf / Proc. ESNA Conf. Aug. 29—Sept. 2. / Ed. M.H. Gerzabek. Seibersdorf (Austria), 1988. P. 34—52.
26. Schonhofer F. Some aspects of the measurement and sampling programme and the cost of counter-measures in Austria after the Chernobyl accident // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 231—233.
27. Mück K., Streit S., Steger F. et al. Estimate of the dose due to ^{90}Sr to the Austrian population after the Chernobyl accident // Health Physics. 1990. V. 58. P. 47—58.
28. Lettner H. Post-Chernobyl distribution of ^{137}Cs concentration in soil and environmental samples in mountainous and plain areas of the province of Salzburg, Austria // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 193—203.
29. Schoenhofer F., Frieda T. A survey on the contamination of game in Austria in 1986—1989 // Fachverb. Strahlenschutz. (Ber.) FS-89-48-T. Berlin, 1989. P. 244—249.
30. Strahlenschutzkommission (SSK), Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland, Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission. B. 7. Stuttgart; New York: Gustav Fischer Verlag, 1987.
31. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Гос. Комитет по использованию атомной энергии СССР. Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ 25—29 августа 1986 года. Ч. II. Приложения. Приложение 5: Атмосферный перенос и радиоактивное загрязнение атмосферы и местности.
32. Winkelmann R., Haubelt R., Neumann P., Fields D.E. Radionuclide Deposition and Exposure in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl Accident // Report of the Oak Ridge National Laboratory, ORNL-6579. November, 1989. Tennessee: Oak Ridge, 1989. P. 30.
33. Lutz N., Siegfried J., Guido Benno F. Radioactive contamination of plants and soil after the Chernobyl reactor accident // Vehr. Ges. Oekol. 1989. V. 18. P. 873—882.
34. Schmidt J., Ergenzinger E., Kolb W. Migration and distribution of radionuclides in soils after the Chernobyl accident // Fachverb. Strahlenschutz. (Ber.) FS-89-48-T 238-343. 1989.
35. Hinkovski Z., Marinov V., Droveva M. Dynamics of radioactive contamination in food in Bulgaria after 1 May 1986 // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 361—364.
36. Vasilev G., Bosevski V. et al. Artificial radionuclide concentrations in the Bulgarian population over the period 1986—1988 // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. V. 1. Vienna: IAEA, 1990. P. 159—165.
37. Kljajic R., Horsic E., Milosevic Z. et al. Comparison of biospheric radiocontamination in the central and northern parts of Yugoslavia // Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 75—82.
38. Vosniakos F.K., Farmakis K.S. Diffuse radioactivity measurements and radionuclide identification in the air of the industrial area of Sindos-Thessaloniki before and after the arrival of the Chernobyl «cloud» // Toxicological and Environmental Chemistry. 1989. V. 20—21. P. 65—69.

39. *Assimakopoulos P.A., Ioannides K.G., Pakou A.A. et al.* Radiocesium levels measured in breast milk one year after the reactor accident at Chernobyl // *Health Physics*. 1989. V. 56. P. 103—106.
40. *Sawidis T., Drossos E., Heinrich G., Papastefanou C.* Cesium-137 accumulation in higher plants before and after Chernobyl // *Environment International*. 1990. V. 16. P. 163—169.
41. *Lofti M., Mancioppi S., Piermattei S. et al.* Environmental monitoring in Italy following the Chernobyl accident // *Environmental Contamination Following a Major Nuclear accident*. V. 1. Vienna: IAEA, 1990. P. 302—304.
42. *Roca V., Napolitano M., Speranza P.R., Gialanella G.* Analysis of radioactivity levels in soils and crops from Campania region (south Italy) after the Chernobyl accident // *Environmental Radioactivity*. 1989. V. 9. P. 117—129.
43. *Tassi Pelati L., Albertazzi S.* The impact of Chernobyl fallout on Adriatic sea near Trieste and Ancona // *Proceedings of a Seminar in Terrestrial Radioecology in September 9—11. 1986*. Piacenza: Univ. di Parma, 1988. P. 133—144.
44. *Gattavecchia E., Ghini S., Tonelli D. et al.* Cesium-137 levels in breast milk and placentae after fallout from the reactor accident in Chernobyl // *Health Physics*. 1989. V. 56. P. 245—248.
45. *Apsimon H.M., Wilson J.J.N., Simms K.L.* Analysis of the dispersal and deposition of radionuclides from V Chernobyl across Europe // *Proceedings of the Royal Society of London. Math.-Phys. Series A*. 1989. V. 425. P. 356—409.
46. *Rannou A., Mouden A., Renouard H. et al.* An assessment of natural radiation exposure in granitic areas in the west of France // *Radiation Protection Dosimetry*. 1988. V. 24. P. 327—331.
47. *Gedikoglu A., Sipahi B.L.* Chernobyl radioactivity in Turkish tea // *Health Physics*. 1989. V. 56. P. 97—101.
48. *Izrael Yu.A.* Study of radioactive contamination of the environment caused by the Chernobyl nuclear power plant accident: Main results // *Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident*. V. 1. Vienna: IAEA, 1990. P. 3—22.
49. *Barkhudarov R.M., Gordeev K.I., Savkin M.N.* Long term prediction of population exposure in the areas contaminated after the Chernobyl accident // *Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident*. V. 2. Vienna: IAEA, 1990. P. 311—318.

Отдел генетики, Национальный институт
медицинских исследований Милл Хилл, Лондон, Великобритания

Поступила в редакцию
13.05.91

Zh. A. Medvedev

RADIONUCLIDES OF CHERNOBYL OUTSIDE THE USSR THE EUROPEAN CONTINENT

*Genetics Division, National Institute for Medical Research,
Mill Hill, London*

The reports on radiation sequels of Chernobyl disaster outside the country are scanty in the USSR. The present paper meets the lack, reporting the scale and the nature of the radioactive fall-outs outside the USSR. The analysis is made of possible radiological consequences of such fall-outs and the preventive measures taken by the governments of some European countries.