

## **Тема № 7 "Катастрофа на Чернобыльской атомной электрической станции и ее последствия для Республики Беларусь"**

Авторы:

Кабашникова Л.Ф., профессор кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, доктор биологических наук, доцент

Ермолович Д.В., начальник кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, кандидат юридических наук, доцент

Рецензент:

Костюкович Э.П., доцент кафедры тактико-специальной подготовки факультета милиции, кандидат юридических наук, доцент

### **Введение**

Чернобыльская атомная электростанция расположена в Киевской области на севере Украины в 7 километрах к югу от украинско-белорусской границы. Этот регион богат лесами и лугами и находится вблизи места, впадения реки Припять в Днепр. В четырех километрах от атомного комплекса расположен город Припять, построенный специально для сотрудников атомной электростанции. На момент аварии там проживало 45 000 человек. В радиусе 30 километров вокруг реактора располагалось в общей сложности 76 населенных пунктов. В 100-ти километрах южнее ЧАЭС находится столица Украины - город Киев. Станция начала давать электроэнергию в 1977 году. Четвертый энергоблок был пущен в конце 1983 года.

26 апреля 1986 года в 1 час 24 минуты на 4-ом энергоблоке Чернобыльской АЭС раздалась последовательно два взрыва, которые возвестили весь мир о свершившейся трагедии уходящего века. Произошла мощная техногенная катастрофа на атомном объекте.

### **1. Катастрофа на Чернобыльской АЭС и особенности радиоактивного загрязнения территории Республики Беларусь**

К весне 1986 года на Чернобыльской АЭС действовали четыре энергоблока. Каждый энергоблок состоит из ядерного реактора и двух паровых турбин. Все четыре реактора однотипные РБМК-1000.

4-й энергоблок ЧАЭС относился к типу кипящих реакторов с графитовым замедлителем. В этом типе реакторов нейтроны, испускаемые при каждом делении ядер урана-235, тормозятся (замедляются) графитом. При этом нейтроны настолько замедляются, что они могут поддерживать цепную реакцию ядерного деления. Теплота, выделяющаяся при ядерном делении, заставляет в реакторах этого типа кипеть воду. Образовавшийся при этом пар приводит в движение турбины АЭС.

Основные технические характеристики РБМК следующие. Активная зона реактора - вертикальный цилиндр диаметром 11.8 метров и высотой 7 метров. По периферии активной зоны, а также сверху и снизу расположен

боковой отражатель - сплошная графитовая кладка толщиной 0.65 метра. Собственно активная зона собрана из графитовых шестигранных колонн (всего их 2488), собранных из блоков сечением 250x250мм. По центру каждого блока сквозь всю колонну проходят сквозные отверстия диаметром 114мм для размещения технологических каналов и стержней СУЗ.

Общее число технологических каналов в активной зоне 1693. Внутри большинства технологических каналов находятся тепловыделяющие кассеты, имеющие довольно сложную структуру. Кассета состоит из двух последовательно соединенных тепловыделяющих сборок (ТВС), длина каждой из которых 3,5м. ТВС содержит 18 стержневых твэлов - трубок наружным диаметром 13,5мм с толщиной стенки 0,9 мм, заполненных таблетками диаметром 11,5мм из двуокиси урана (UO<sub>2</sub>), крепежные детали из сплава циркония и несущий стержень из оксида ниобия. Стенки кассеты плотно фиксированы к графитовой кладке, а внутри кассет циркулирует вода. В остальных каналах расположены стержни системы управления защитой, которые состоят из поглотителя - бороциркониевого сплава. Некоторые каналы полностью изолированы от теплоносителя, и в них расположены датчики радиации.

Электрическая мощность РБМК - 1000 Мвт. АЭС с реакторами РБМК составляют заметную долю в атомной энергетике. Так, ими оснащены Ленинградская, Курская, Чернобыльская, Смоленская, Игналинская АЭС.

Электростанции не только производят, но и потребляют электричество, например потребляют его насосы, предназначенные для охлаждения реактора. Электричество обычно обеспечивается из общей сети. Если реактор отключается от общей сети, он должен быть способен получить энергию из собственной продукции. Если же реактор не производит электричество, то требуется другой источник энергии для обеспечения бесперебойной доставки хладагента в реакторное ядро. Для этого используются дизельные генераторы, однако при выключении реактора существует задержка, пока генераторы будут запущены. Именно поэтому во время этой задержки реактор должен быть способен сам обеспечивать требуемую мощность для питания охлаждающих систем.

На 25 апреля 1986 года был запланирован тест 4-го реактора АЭС по самообеспечению энергией. Персонал станции должен был проверить, хватит ли электрической мощности замедляющейся турбине, чтобы эксплуатировать аварийное оборудование и насосы для охлаждения. Этот тест уже проводился ранее, но не были определены окончательные результаты, поэтому было решено повторить его. К несчастью, этот тест был определен как тест неядерной части электростанции и поэтому выполнялся без учета необходимых предосторожностей. Действия персонала, проводившего тестирование, не были скоординированы с персоналом, отвечающим за ядерную безопасность.

Для тестирования требовалось понизить мощность реактора. Поначалу реактор работал в половину мощности и контрольные системы не позволяли уменьшить мощность. Только в 23 часа 25 апреля система управления

позволила уменьшить мощность. Мощность упала до 30 MW(t). Затем операторы пробовали поднять мощность до 700-1000 MW(t). К часу ночи 26 апреля мощность была стабилизирована на уровне 200 MW(t), но достичь этого удалось только после технологических нарушений, несовместимых с гарантированным безопасным функционированием системы. Реактор стал очень нестабильным и операторы были вынуждены вносить изменения через каждые несколько секунд, чтобы поддерживать постоянную мощность.

Чтобы препятствовать прерыванию эксперимента, системы аварийной защиты были сознательно отключены. Для проведения эксперимента нужно было снизить мощность реактора до уровня 25% от номинальной. Однако этот процесс пошел не по плану. Внезапно, по до сих пор не выясненным причинам, мощность реактора упала до уровня ниже 1%. Реактор пришлось снова медленно разгонять. Однако спустя 30 секунд после начала эксперимента мощность вдруг резко возросла. Аварийное гашение реактора (остановка цепной ядерной реакции) не удалось.

В доли секунды мощность и температура возросли во много раз. Реактор вышел из-под контроля. Произошел мощнейший взрыв. Взрывом выбросило плиту, покрывавшую 4-й энергоблок, вес которой составлял 1000 тонн. При температурах свыше 2000°C тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) стали плавиться. Затем загорелась графитовая оболочка реактора. В настоящем огневом шторме радиоактивные продукты деления из оплавленной активной зоны стали выбрасываться в атмосферу.

Насосы, обеспечивающие охлаждение реактора, стали подавать меньшее количество воды и объем пара в охлаждающих каналах увеличился. Внезапное увеличение продукции теплоты привело к взрыву, разрушившему реакторное ядро. Тремя секундами позже произошел еще один взрыв.

Причиной первого взрыва было топливо, во втором взрыве, по-видимому, принял участие водород. Взрывы разрушили крышу реактора и радиоактивные вещества вырвались наружу.

Хроника катастрофы:

25 апреля 1986г.

1.00. Начато постепенное снижение мощности реактора.

13.05. Мощность реактора снижена с 3200 мегаватт до 1600. Остановлена турбина №7. Питание электросистем реактора переведено на турбину №8.

14.00. Заблокирована система аварийной остановки реактора САОР. В это время диспетчер "Киевэнерго" распорядился задержать остановку блока (конец недели, вторая половина дня, растет потребление энергии). Реактор работает на половинной мощности, а САОР так и не подключена вновь. Это грубая ошибка персонала, но на развитие событий она не повлияла.

23.10. Диспетчер снимает запрет. Персонал начинает снижать мощность реактора.

26 апреля 1986 г.

0.28. Мощность реактора снизилась до уровня, когда систему управления движением управляющих стержней надо переводить с локальной на общую (в обычном режиме группы стержней можно перемещать независимо друг от друга - так удобнее, а при низкой мощности все стержни должны управляться с одного места и двигаться одновременно). Этого сделано не было. Это была ТРЕТЬЯ трагическая ошибка. Одновременно оператор допускает ЧЕТВЕРТУЮ трагическую ошибку. Он не выдает машине команду "держат мощность". В результате мощность реактора стремительно снижается до 30 мегаватт. Кипение в каналах резко снизилось, началось ксеноновое отравление реактора. Персонал смены допускает ПЯТУЮ трагическую ошибку. Все инструкции предписывают в такой ситуации глушить реактор. Оператор выводит из активной зоны все управляющие стержни.

1.00. Мощность реактора удалось поднять до 200 мегаватт против предписанных программой испытаний 700-1000. Это было второе преступное действие смены. Из-за нарастающего ксенонового отравления реактора мощность поднять выше не удается.

1.03. Начался эксперимент. К шести работающим главным циркуляционным насосам подключается в качестве балластной нагрузки седьмой насос.

1.07. Подключается в качестве балластной нагрузки восьмой насос. На работу такого количества насосов система не рассчитана. Начался кавитационный срыв ГЦН (им просто не хватает воды). Они высасывают воду из барабанов сепараторов и ее уровень в них опасно понижается. Огромный поток довольно холодной воды через реактор снизил парообразование до критического уровня. Стержни автоматического регулирования машина полностью вывела из активной зоны.

1.19. Вследствие опасно низкого уровня воды в барабанах сепараторах оператор увеличивает подачу в них питательной воды (конденсата). Одновременно персонал допускает ШЕСТУЮ трагическую ошибку. Он блокирует системы остановки реактора по сигналам недостаточного уровня воды и давлению пара.

1.19.30 Уровень воды в барабанах сепараторах начал расти, но из-за снижения температуры воды, поступающей в активную зону реактора и ее большого количества, кипение там прекратилось. Последние стержни автоматического регулирования покинули активную зону. Оператор допускает СЕДЬМУЮ трагическую ошибку. Он полностью выводит из активной зоны и последние стержни ручного управления, лишая себя тем самым возможности управлять процессами, происходящими в реакторе. Дело в том, что высота реактора 7 метров и он хорошо отзывается на перемещение управляющих стержней, когда они перемещаются в средней части активной зоны, а по мере удаления их от центра управляемость ухудшается. Скорость перемещения стержней 40 см в сек.

1.21.50 Уровень воды в барабанах-сепараторах несколько превысил норму и оператор отключает часть насосов.

1.22.10 Уровень воды в барабанах сепараторах стабилизировался. В активную зону теперь поступает намного меньше воды, чем до этого момента. В активной зоне вновь начинается кипение.

1.22.30 Из-за неточности систем управления, не рассчитанных на подобный режим работы оказалось, что подача воды в реактор составляет около  $2/3$  от потребного. В этот момент компьютер станции выдает распечатку параметров реактора с указанием на то, что запас реактивности опасно мал. Однако персонал просто проигнорировал эти данные. Инструкция предписывает в такой ситуации немедленно аварийным порядком глушить реактор.

1.22.45 Уровень воды в сепараторах стабилизировался, количество поступающей в реактор воды удалось привести в норму. Тепловая мощность реактора медленно начала расти. Персонал предположил, что работу реактора удалось стабилизировать и было решено продолжить эксперимент. Это была ВОСЬМАЯ трагическая ошибка. Ведь практически все стержни управления находились в поднятом положении, запас реактивности был недопустимо мал, САОР отключена, системы автоматической остановки реактора по ненормальному давлению пара и уровню воды заблокированы.

1.23.04 Персонал блокирует систему аварийной остановки реактора, срабатывающую в случае прекращения подачи пара на вторую турбину, если до этого уже была выключена первая. Напомню, что турбина № 7 была выключена еще в 13.05 25.04 и сейчас работала только турбина №8. Это была ДЕВЯТАЯ трагическая ошибка. Инструкция запрещает отключать эту систему аварийной остановки реактора во всех случаях. Одновременно персонал перекрывает подачу пара на турбину №8. Это идет эксперимент по замеру электрических характеристик работы турбины в режиме выбега. Турбина начинает терять обороты, напряжение в сети снижается и ГЦН, питающиеся от этой турбины начинают снижать обороты.

Следствие установило, что если бы не была отключена система аварийной остановки реактора по сигналу прекращения подачи пара на последнюю турбину, то катастрофы не произошло бы. Автоматика бы заглушила реактор. Но персонал предполагал повторить эксперимент несколько раз на различных параметрах управления магнитным полем генератора. Остановка реактора исключала такую возможность.

1.23.30 ГЦН значительно снизили обороты и поток воды через активную зону реактора значительно уменьшился. Стало быстро нарастать парообразование. Три группы стержней автоматического управления пошли вниз, но остановить нарастание тепловой мощности реактора не смогли, т.к. их уже было недостаточно. Т.к. подача пара на турбину была отключена, то ее обороты продолжали снижаться, насосы все меньше подавали воды в реактор.

1.23.40 Начальник смены, поняв происходящее приказывает нажать кнопку АЗ-5. По этой команде стержни управления с максимальной скоростью опускаются вниз. Такое массированное введение в активную зону

реактора поглотителей нейтронов призвано в короткое время полностью прекратить процессы ядерного деления.

Это была Последняя ДЕСЯТАЯ трагическая ошибка персонала и последняя непосредственная причина катастрофы. Хотя следует сказать, что если бы эта последняя ошибка не была бы совершена, то все равно катастрофа уже была неминуема.

А произошло вот что - на расстоянии 1,5 метра под каждым стержнем подвешен так называемый "вытеснитель". Это алюминиевый цилиндр длиной 4,5м, заполненный графитом. Его задача состоит в том, чтобы при опускании управляющего стержня нарастание поглощения нейтронов происходило не резко, а более плавно. Графит тоже поглощает нейтроны, но несколько слабее, чем бор или кадмий. Когда стержни управляющие подняты до предела вверх, то нижние концы вытеснителей находятся выше нижней границы активной зоны на 1,25м. В этом пространстве находится вода, которая еще не кипит. Когда все стержни резко пошли вниз по сигналу АЗ-5, то сами стержни с бором и кадмием еще фактически не вошли в активную зону, а цилиндры вытеснителей, действуя подобно поршням, вытеснили из активной зоны эту воду. ТВЭЛы обнажились.

Произошел резкий скачок парообразования. Давление пара в реакторе резко возросло и это давление не позволило стержням упасть вниз. Они зависли, пойдя всего 2 метра. Оператор выключает питание муфт стержней. При нажатии на эту кнопку отключаются электромагниты, которые держат управляющие стержни прикрепленными к арматуре. После подачи такого сигнала абсолютно все стержни (и ручного и автоматического управления) отсоединяются от своей арматуры и свободно падают вниз под действием собственного веса. Но они уже висели, подпираемые паром, и не шевелились.

1.23.43 Начался саморазгон реактора. Тепловая мощность достигла 530 мегаватт и продолжала стремительно нарастать. Сработали две последние системы аварийной защиты - по уровню мощности и по скорости роста мощности. Но обе эти системы управляют выдачей сигнала АЗ-5, а он был еще 3 секунды назад подан вручную.

1.23.44 В доли секунды тепловая мощность реактора возросла в 100 раз и продолжала нарастать. ТВЭЛы раскалились, разбухающие частицы топлива разорвали оболочки ТВЭЛов. Давление в активной зоне многократно возросло. Это давление, преодолевая давление насосов вытеснило воду обратно в подающие трубопроводы.

Далее давление пара разрушило часть каналов и паропроводы над ними.

Это был момент первого взрыва...

Реактор перестал существовать как управляемая система.

После разрушения каналов и паропроводов давление в реакторе стало падать и вода вновь пошла в активную зону реактора. Начались химические реакции воды с ядерным топливом, разогретым графитом, цирконием. В ходе этих реакций началось бурное образование водорода и окиси углерода.

Давление газов в реакторе стремительно нарастало. Крышка реактора весом около 1000 тонн приподнялась, обрывая все трубопроводы.

1.23.46 Газы, находившиеся в реакторе соединились с кислородом воздуха, образовав гремучий газ, который из-за наличия высокой температуры мгновенно взорвался.

Это был второй взрыв.

Крышка реактора подлетела вверх, повернулась на 90 градусов и вновь упала вниз. Разрушились стены и перекрытие реакторного зала. Из реактора вылетели четверть находящегося там графита, обломки раскаленных ТВЭЛов. Эти обломки упали на крышу машинного зала и другие места, образовав около 30 очагов пожара.

Цепная реакция деления прекратилась.

Персонал станции начал покидать свои рабочие места примерно с 1.23.40. Но с момента выдачи сигнала АЗ-5 до момента второго взрыва прошло всего 6 секунд. Сообразить, что происходит за это время и тем более успеть что-то сделать для своего спасения невозможно. Уцелевшие при взрыве сотрудники покинули зал уже после взрыва.

В результате взрыва начался пожар. Из близлежащего города Припяти были вызваны более 100 пожарников. Именно они приняли на себя самую большую дозу облучения и понесли крупные потери (по советским сводкам - 31 погибший во время ликвидации).

8 из 140 тонн ядерного топлива, содержащих плутоний и другие чрезвычайно радиоактивные материалы (продукты деления), а также осколки графитового замедлителя, тоже радиоактивные, были выброшены взрывом в атмосферу. Кроме того, пары радиоактивных изотопов йода и цезия были выброшены не только во время взрыва, но и распространялись во время пожара. В результате аварии была полностью разрушена активная зона реактора, повреждено реакторное отделение, деаэрационная этажерка, машинный зал и ряд других сооружений

Технические неполадки (возможно, и повлиявшие на последующие события) ЧАЭС возникли ещё при строительстве. На отдельных участках строительства были допущены отступления от проекта и нарушения технологии ведения работ.

"Колонны каркаса машинного зала смонтированы с отклонениями от разбивочных осей до 100 мм, между колоннами в отдельных местах отсутствуют горизонтальные связи. Стеновые панели уложены с отклонением от осей до 150 мм". КГБ СССР 346-А от 21.02.79.

В качестве подтверждения версии о технических неполадках можно привести слова бывшего зам. министра Г. А. Шашарина: "Основными причинами катастрофы на ЧАЭС явились конструктивные недостатки стержней СУЗ <...>. Доказательством этого может служить тот факт, что после аварии на всех реакторах РБМК очень быстро произвели значительные реконструкционные работы".

Специалистами, анализировавшими предаварийную хронологию управления ядерной установкой, были выделены основные, грубейшие нарушения регламента, послужившие причиной аварии:

снижение оперативного запаса реактивности, то есть уменьшение количества стержней поглотителей в активной зоне реактора ниже допустимой величины;

неожиданный провал мощности реактора, а затем работа аппарата при меньшем, чем было предусмотрено программой испытаний, уровне тепловой мощности;

подключение к реактору всех восьми главных циркуляционных насосов с превышением расходов по отдельным ГЦН, установленных регламентом. (Ошибка была заложена в самой программе испытаний);

блокировка защиты реактора по сигналу отключения пара от двух турбогенераторов;

блокировка защиты аппарата по уровню воды и давлению пара в барабане-сепараторе;

отключение системы защиты, предусмотренной на случай возникновения максимальной проектной аварии, - системы аварийного охлаждения реактора (САОР).

В 1990 г. создается очередная комиссия для выяснения причин и обстоятельств чернобыльской аварии. В отчете комиссии намеренно умалчивается о проблеме контрольных регулирующих стержней реактора, перечисляется лишь ряд "нарушений" несуществующих правил со стороны операторов. Официальная версия причин Чернобыльской катастрофы есть ни что иное, как попытка возложить бремя вины на операторов ЧАЭС и при этом умолчать об ответственности проектировщиков, допустивших конструктивные просчеты.

При выяснении причин аварии не было возможности обратиться к опыту подобных случаев в истории. Приходилось полагаться на свидетельства очевидцев, а также на результаты замеров и экспериментов, проведенных после аварии. Причинами аварии сегодня считается роковое сочетание человеческой некомпетентности и несовершенства техники.

Эксперимент, во время которого произошла авария, проводился в условиях нехватки времени. Почти сразу же после начала эксперимента, 25-го апреля 1986 г., его пришлось прервать на 9 часов. Нужно было поставить электроэнергию в столицу Украины - Киев. В результате эксперимент проводился ночью. Однако на сегодняшний день считается, что решающую роль сыграли многочисленные ошибки в конструкции реактора этого типа.

В результате пожара радиоактивные вещества выбрасывались высоко в атмосферу и перемещались ветром, из-за чего произошло загрязнение огромных территорий. Выделявшиеся при горении графитовой оболочки горячие газы подняли радиоактивные вещества на высоту более 1500 метров.

Наиболее сильному загрязнению подверглась зона, непосредственно прилегающая к аварийному реактору, куда попали куски активной зоны, выброшенные взрывом, и крупные частицы. Однако основная часть

радиоактивных материалов, сыгравшая главную роль в создании нынешней экологической ситуации, была первоначально выброшена в атмосферу.

До того, как пожар был потушен, направление ветра и погодные условия многократно менялись. Первоначально радиоактивная воздушная струя перемещалась на запад через северные области Украины и южные области Беларуси. Впоследствии радиоактивные выпадения сменили направление в сторону севера, поразив восточные районы Беларуси и западные области Российской Федерации, а затем повернули на юг в сторону Киева.

Радиоактивность широко распространилась вплоть до территорий Скандинавии, Польши, Прибалтики, а также южной Германии, северной Франции и Англии.

Ситуация с пожаром усугублялась отсутствием опыта борьбы с таким типом пожаров и риском цепной реакции в реакторе. Для тушения пожара применялись вертолеты, сбрасывавшие специальные составы для тушения и предотвращения цепной реакции, а также песок и глину. Впоследствии обнаружилось, что они, возможно, еще более увеличили температуру реактора. Пожар был потушен только 9 мая.

Из разрушенного реактора в течение первых 10 дней после аварии было выброшено более 40 различных видов радионуклидов. Для анализа последствий аварии имеют значение в первую очередь йод ( $I-131$ ), цезий ( $Cs-137$ ) и стронций (в основном  $Sr-90$ ). На сегодняшний день считается, что в атмосферу попало около 50% содержавшегося в реакторе йода и 30% цезия.

В Беларуси, России и на Украине местами прошли ливневые дожди, что привело к очень неравномерному распределению радионуклидов. Так, например, в Гомельской области Беларуси, на северо-востоке от Чернобыля, часть территорий была загрязнена в той же степени, что и зона в непосредственной близости от реактора. Украинский город Народичи был разделен выпадением радиоактивных осадков на две половины: чистую западную и сильно загрязненную восточную. "Пятна" сильного радиационного загрязнения часто соседствуют со слабозагрязненными территориями.

С точки зрения радиационного загрязнения йод, с периодом полураспада 8 дней, был наиболее опасным радиоактивным элементом в первые недели после аварии. В Беларуси в течение первой недели после аварии измерения почти повсеместно указывали на повышенное содержание радиоактивного йода. Человеческий организм не делает различия между радиоактивным и естественным стабильным йодом и накапливает радиоактивный йод в основном в щитовидной железе.

Анализ реконструкции радиоактивного загрязнения территории Беларуси  $I-131$  показывает, что по состоянию на 10 мая 1986 года вся территория Беларуси была загрязнена более 1 Ки/км<sup>2</sup>, при этом максимальные расчетные значения в 30-км зоне ЧАЭС могли достигнуть 6000 Ки/км<sup>2</sup>, что вполне вероятно, т.к. загрязнение этого региона

формировалось в течение длительного периода при многократных выпадениях радионуклидов, в т.ч. и J-131 из радиоактивного облака, находящегося непосредственно над аварийным реактором.

В северной части Гомельской области были зафиксированы высокие экспериментальные значения J-131 в отдельных пробах почвы, например, н.п. Светиловичи Ветковского района, где измеренная активность йода составляет 534 Ки/км<sup>2</sup>, при этом максимальные расчетные значения J-131 в этом населенном пункте достигают 540 Ки/км<sup>2</sup>.

В центральной части Могилевской области максимальные расчетные активности J-131 в выпадениях оцениваются как 600 Ки/км<sup>2</sup>, в основном они находятся в интервале 50-300 Ки/км<sup>2</sup>. При этом необходимо отметить, что в н.п. Чудяны максимальное значение J-131 в локальных точках могло достигнуть величины на порядок большей, однако, ввиду того, что площадь этого пятна значительно меньше 1 км<sup>2</sup>, эту величину следует оценивать в размерности 6000 мкКи/м<sup>2</sup>.

Радиоактивный цезий с периодом полураспада 30 лет является на сегодняшний день наиболее распространенным изотопом. От 125 000 до 146 000 кв.км считаются сегодня загрязненными радиоактивным цезием.

Анализ радиоактивного загрязнения территории Европы цезием-137 показывает, что не менее 34% чернобыльских выпадений этого радионуклида на европейском континенте находится на территории Беларуси, а по ряду других оценок эта доля составляет около 70% . Загрязнение территории Беларуси цезием-137 с плотностью свыше 37 кБк/м<sup>2</sup> составило 23% от всей площади республики (для Украины - 5%, России - 0,6%).

В Беларуси радиоактивному загрязнению <sup>137</sup>Cs более 1 Ки/км<sup>2</sup> подверглась территория, площадь которой по состоянию на 1995 год составляет 45519 км<sup>2</sup>. На этой территории расположено свыше 3600 населенных пунктов, в т.ч. 27 городов, где проживало 2,2 млн. человек. На основании результатов измерений <sup>137</sup>Cs, которые получены в период 1986-1998 гг. и внесены в базу данных радиоактивного загрязнения природной среды были построены карты пространственного распределения <sup>137</sup>Cs на территории Беларуси.

Наиболее загрязненными оказались Гомельская, Могилевская и Брестская области. Радиоактивное загрязнение территории Беларуси <sup>137</sup>Cs носит неравномерный, "пятнистый" характер. Эта неравномерность наблюдается также в пределах одного населенного пункта.

Кроме того, опасность долговременного радиоактивного загрязнения несут в себе стронций (<sup>90</sup>Sr) с периодом полураспада 29 лет и плутоний (<sup>241</sup>Pu), включая его продукты распада. Некоторые из них распадутся на половину только через 24 000 лет.

Радиоактивное загрязнение территории Беларуси в первый период после катастрофы определялось такими радионуклидами как <sup>144</sup>Ce (период полураспада 284 суток) и <sup>106</sup>Ru (период полураспада 368 суток).

Уровни загрязнения почвы  $^{144}\text{Ce}$  более  $3700 \text{ кБк/м}^2$  ( $100 \text{ Ки/км}^2$ ) были обнаружены в 30-км зоне ЧАЭС, а уровни более  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ) на территории Лельчицкого района на западе, Бобруйского района на северо-западе и Быховского на севере от ЧАЭС.

Уровни загрязнения почвы  $^{106}\text{Ru}$  более  $1480 \text{ кБк/м}^2$  ( $40 \text{ Ки/км}^2$ ) были обнаружены в 30-км зоне ЧАЭС, а уровни более  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ) на территории Калининковского района на северо-западе Чечерского и Чериковского районов.

Радиоактивные частицы осаждались на почву, растения, здания, оборудование и прочие предметы. Гамма-излучение этих частиц внесло основной вклад в так называемую дозу "внешнего излучения", полученную населением в первые месяцы после аварии. Во время пожара погода в западной части Советского Союза характеризовалась обильными осадками. Распределение осадков в значительной мере зависело от мест их выпадения, поэтому оно является весьма неоднородным (носит характер пятен). В итоге уровни загрязнения могут сильно отличаться от одной деревни к другой и даже между соседними полями.

После чернобыльской катастрофы была проведена большая работа по оценке загрязнения территорий, подвергшихся воздействию радиации. Группой специалистов во главе с бывшим председателем Госкомгидромета СССР Ю. Израэлем, подготовлен Атлас радиационного загрязнения Европы в результате взрыва реактора на ЧАЭС. Было проведено в странах Европы точечных измерений около 500 тысяч. Для их компьютерной обработки использовалось специальное программное устройство. Кроме того, проводилась аэрогаммасъемка. Загрязнение, пришедшее из Чернобыля, от 1 кюри на квадратный километр составляет 1,7% территории Европы. На сводной карте выделено основное чернобыльское пятно, далее Гомельско-Могилевское, затем Плавско-Тульское в России. Зарегистрировано пятно и в Ленинградской области (исходя из "чернобыльского" следа, можно предположить, что найденное пятно с повышенным радио фоном в районе г. Медвежьегорска в Карелии, того же происхождения).

Загрязнение распространялось на запад - юго-запад, северо-запад, в скандинавские страны, потом на восток - очень большой, мощный след с обильными осадками. Потом тучи пошли на юг и юго-запад: Румыния, Болгария, запад: южная Германия, Италия, Австрия, альпийская часть Швейцарии.

## **2. Последствия радиоактивного загрязнения территорий для Республики Беларусь**

Когда человек в течение короткого промежутка времени подвержен сильному радиоактивному излучению, наступают первичные последствия влияния радиации. Их отличают от так называемых отдаленных последствий, таких как опухоли или изменения в наследственном материале, которые зачастую появляются лишь спустя десятилетия.

При дозе свыше 0,5 зиверт (Зв) ученые говорят об остром лучевом поражении. При таком уровне облучения негативные эффекты появляются немедленно или через несколько дней. Ослабляется иммунная система, изменяется состав крови, повреждаются желудочно-кишечный тракт, легкие и некоторые другие внутренние органы, а также центральная нервная система. При дозах от 1 до 2 зиверт врачи-радиологи считают, что у пятой части пострадавших возможен летальный исход. При дозах свыше 7 Зв процент выживающих равен нулю.

Из 600 сотрудников АЭС и пожарных, которые сразу после аварии находились в непосредственной близости от горящего реактора, 134 человека получили дозы в районе от 0,7 до 13 Зв. Из них 31 человек, несмотря на интенсивное лечение, умерли в течение первых 3 месяцев после аварии. Как показала авария в Чернобыле, лечение людей, получивших высокую эффективную дозу облучения от 10 Зв и выше, является очень сложным и малоэффективным. Из-за нарушений функционирования иммунной системы организм не может препятствовать проникновению в него инфекций, поэтому пациенты вынуждены были постоянно принимать антибиотики. Даже пересадка костного мозга не помогла этим пациентам выжить.

Из 800 000 пожарных и солдат, так называемых ликвидаторов, которые в последующие годы работали на территории вокруг реактора и проводили расчистку, 30 000 получили дозы, превышающие 0,5 зиверт. По сведениям, предоставленным официальными инстанциями трех наиболее пострадавших стран-правопреемниц бывшего СССР к настоящему времени умерло 25 000 ликвидаторов. Они страдают такими заболеваниями как рак легких и рак крови (лейкемия), а также сердечно-сосудистыми заболеваниями и воспалениями желудочно-кишечного тракта.

Фиксируемый рост заболеваемости детей и подростков раком щитовидной железы является серьезнейшей проблемой для медицинских учреждений, особенно в Беларуси. Хотя в большинстве случаев это заболевание не смертельно, его лечение является дорогостоящим и ресурсоемким.

Необходимо отметить, что йодная недостаточность не только влияет на щитовидную железу, но и снижает показатель умственных способностей. Помимо снижения умственных способностей, йодная недостаточность, как известно, повышает риск поглощения радиоактивного йода щитовидной железой. Облучение населения радиоактивным йодом, особенно в первые месяцы после аварии усугублялось йодной недостаточностью, что способствовало поступлению в организм радиоактивного йода, главным образом в результате потребления загрязненного молока.

В Беларуси, благодаря особому вниманию к заболеваниям щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС, йодная недостаточность стала рассматриваться как важнейший вопрос, связанный со здоровьем населения.

Остается, однако, неясным насколько широко используется йодированная соль. Существует различные оценки, по некоторым из них до

50% населения потребляет в пищу йодированную соль, однако это, в основном, более образованные люди и жители загрязненных территорий.

Число случаев рака молочной железы и других опухолей возрастает. Непосредственным следствием аварии на ЧАЭС на международном уровне признано также возрастание числа случаев рака молочной железы. Статистика подтверждает удвоение случаев данного заболевания в Гомельской области Беларуси. Гомельская область относится к наиболее зараженным территориям. Кроме того, белорусские и украинские ученые прогнозируют увеличение случаев возникновения опухолей мочеполовой системы, рака легких и желудка, как среди ликвидаторов, так и среди мужского населения сильнозагрязненных территорий. Эти выводы поддерживаются специалистами в области раковых заболеваний из других стран.

Национальные и международные эксперты не подвергают сомнению тот факт, что состояние здоровья жителей зараженных территорий является чрезвычайно плохим. Среди причин этого явления в последнем докладе ПРООН (UNDP) и ЮНИСЕФ (UNICEF) называются следующие: бедность, плохое питание, нездоровые условия жизни.

По последним данным государственного белорусского Комитета по проблемам последствий на ЧАЭС средняя заболеваемость жителей зараженных территорий выше, чем у жителей других регионов. Жители так называемых "чистых" территорий не подвергаются специальному обследованию, что делает необходимым проведение соответствующих сравнительных исследований.

Чем менее развита клетка, чем чаще она делится, тем чувствительней она реагирует на радиоактивное излучение. Таким образом плод в чреве матери наиболее уязвим. Радиоактивное облучение матери может привести к тяжелым патологиям тела и мозга у новорожденного.

Вскоре после аварии на ЧАЭС в Беларуси был зафиксирован значительный рост нарушений процесса воспроизводства населения. Речь идет в первую очередь о беременности. В период между 1986 и 1990 гг. зарегистрировало наряду со значительно возросшим числом выкидышей и недоношенных детей втрое возросшее число аномалий развития у новорожденных.

Новые результаты научных исследований, которые были представлены на симпозиуме "Медицинские последствия аварии у Чернобыльских детей" (Health Consequences of Chernobyl Children), проведенного в Базеле в 2003 году, подтверждают значительное увеличение перинатальной смертности, мертворождения и аномалий развития в сильно зараженных регионах Германии и других стран Европы после аварии на Чернобыльской АЭС.

После 1989 в Беларуси и на Украине было наблюдаемо неожиданное увеличение ранней перинатальной смертности. Причины этому приписываются действию стронция, превышающему действие цезия в 10 раз.

Психические нагрузки на жителей Беларуси, России и Украины вызваны сложным переплетением целого ряда событий и личного опыта. В первую очередь следует выделить сам факт аварии, аналога которому в личном опыте людей не существовало. Далее следует чувство тревоги, вызванное отсутствием информации о степени угрозы для личного здоровья. Многие из тех, кто был вынужден покинуть родные села, до сих пор не сумели переработать этот негативный жизненный опыт. Кроме того, с распадом СССР прекратила существование система социальных гарантий, означавшая для многих определенный уровень социальной защиты.

Авария на ЧАЭС и ее последствия - эвакуация и переселение 350 400 человек оказала на Беларусь, Россию и Украину сильное социальное воздействие.

Жители всех населенных пунктов, в которых уровень радиоактивного загрязнения почвы цезием-137 превышал 5 Ки/кв.км, получали право на переселение. В случае, если уровень радиоактивного загрязнения почвы превышал 15 Ки/кв.км., население на Украине подлежало эвакуации. В России и Беларуси этот уровень равнялся 40 Ки/кв.км.

Так, с 1986 по 2000 гг. Хойникский район Гомельской области Беларуси, считающийся одним из наиболее загрязненных районов, покинуло 47% населения.

Во всех трех странах на зараженных территориях остаются проживать или же нелегально на них возвращаются после переселения в первую очередь пожилые люди, не желающие покидать свои родные села. Среди тех, кто добровольно покинул свои села, преобладают молодые семьи с детьми. Отток молодой рабочей силы на фоне негативных явлений в области состояния здоровья вызвал негативные изменения в демографической структуре загрязненных территорий: рождаемость падает, смертность возрастает.

Недостаток молодежи тяжелым бременем ложится на социальную и экономическую сферу загрязненных территорий. Не хватает учителей и врачей. Это влечет за собой снижение качества образования и медицинского обслуживания. Некоторые предприятия из-за недостатка кадров просто закрываются. Это в свою очередь побуждает оставшиеся семьи к переселению. Оставшиеся жители ощущают себя брошенными государством на произвол судьбы.

Загрязнение почв в Беларуси, России и на Украине зависит от многих факторов: от естественной активности изотопов, от их подвижности (мобильности) в почве и от типа почвы. Так, например, в Беларуси, где выпало 70% всех выброшенных после аварии 1986 года радионуклидов, загрязнению радиоактивным цезием-137 подверглось около 22% территории страны. Сегодня загрязненные районы все еще составляют 21% территории республики.

По оценкам государственного Комитета по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС к 2016 году загрязненные площади будут составлять 16% территории Беларуси.

Если в почве содержится цезий, то он годами может оставаться в поверхностном слое. Измерения, проведенные в 1996 году, показали, что 90% загрязнения радиоактивным цезием все еще находилось в верхнем 5-сантиметровом слое почвы. Государственный Комитет по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС в своем отчете для Беларуси делает вывод о том, что "цезий еще долго будет оставаться в корнеобитаемых слоях почв".

По-прежнему наиболее сильно загрязненными остаются лесные почвы. Происходит это потому, что корни, хвоя и листва накапливают радиацию как фильтры. Опадание листвы и хвои повышает накопление радионуклидов в почве. В глинистых и песчаных почвах цезий проникает в глубинные слои также очень медленно, немного быстрее процесс проникновения радионуклидов в глубокие почвенные слои происходит на торфяниках.

Стронций намного подвижнее цезия, он легко растворяется в воде, и поэтому его перемещения в почве менее прогнозируемы. После аварии этот радиоактивный элемент рассеялся в 30-километровой зоне, а также в Гомельской и Могилевской областях на юге Беларуси. На сегодняшний день белорусские и иностранные эксперты считают, что до 80% стронция уже попало в природный круговорот веществ.

Замена загрязненных почв в Беларуси считается на сегодняшний день экономически нецелесообразной. Почва заменяется только в особых случаях, например, для детских садов или школ. В первые несколько лет после аварии подобные работы форсировались советским правительством в основном в 30-километровой зоне вокруг реактора. Там до сих пор находятся от 600 до 800 незащищенных захоронений радиоактивных отходов. Захоронения не были точно нанесены на карты и представляют собой сегодня серьезную опасность для грунтовых вод.

Только в одной Беларуси в результате Чернобыльской аварии радиоактивному загрязнению подверглось 17 000 кв.км лесов и 18 000 кв.км сельскохозяйственных угодий. Хвойные и лиственные деревья в лесах как фильтры вобрали в себя радиацию. Выпавшая в виде осадков радиация вначале сконцентрировалась именно в них. К настоящему моменту радионуклиды уже переместились в почву вместе с отмершими листьями и хвоей. В течение следующего десятилетия они станут накапливаться в древесине.

На сегодняшний день более всего заражены такие типичные лесные растения как ягоды и грибы, вереск, папоротники и лишайники. Это относится также и к слабо загрязненным территориям с уровнем загрязнения в 1-2 Кюри/кв.км.

Очевидно степень обработки почвы тоже играет свою роль. Так, например, растительность на лугах и пастбищах, где почва не перепахивается, загрязнена в 3-5 раз сильнее, чем картофель и пшеница на полях, которые ежегодно возделываются.

Генетические последствия радиационного загрязнения для растений оцениваются сегодня по-разному. "Большинство растений на загрязненных территориях генетически не изменились" - так оценивает положение белорусский государственный Комитет по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС. Но в то же время Комитет не исключает возможности того, что отбор уже произошел, и доминируют наиболее устойчивые к радиации растения.

Также сообщается, что снизилась способность семян к прорастанию. Есть сведения об отклонениях в процессах фотосинтеза и образования белка.

Ученые Базельского Института им. Фридриха Мишера спустя 14 лет после аварии высадили вблизи реактора и в 30-километровой зоне семена пшеницы. Уже через 10 месяцев (через одно поколение) уровень мутации этих растений составил 6,63 промилле. На контрольном участке эта цифра достигла лишь 1,03 промилле (количество мутаций на тысячу единиц).

Среди домашнего скота больше всего радионуклидов накапливается в теле (в мясе и молоке) травоядных животных, таких как коровы и козы. Кроме того в лесных районах существует практика выпаса скота на лесных пастбищах, которые еще более загрязнены чем луга.

Дикие животные в зараженных лесах по-прежнему накапливают большое количество радионуклидов, т.к. питаются загрязненными лишайниками, ягодами и грибами. Среди диких лесных животных такие хищники как волки и лисы накапливают дозы, до 12 раз превышающие соответствующие значения у травоядных животных, которыми они питаются.

В реках и озерах на загрязненных территориях радионуклиды сконцентрированы в основном в донных отложениях. Здесь наблюдаются уровни загрязнения до 1 миллиона Беккерель на кубический метр ила. Т.к. рыба находит себе пищу в этом иле, то уровень ее загрязнения также очень высок.

В первые 10 дней после аварии, наряду с дождями, основными переносчиками радионуклидов являлись реки, в первую очередь это касалось Припяти и Днепра. Концентрация радионуклидов в больших и средних реках Беларуси на данный момент снизилась до такой степени, что она не превышает на сегодняшний день Республиканских допустимых уровней - 10 Бк/л.

Измерения показывают, что радионуклиды накапливаются прежде всего в осадочных отложениях, т.е. в тине на дне водоемов. В первую очередь это относится к непроточным водоемам (озерам и прудам), расположенным на загрязненных территориях. Несмотря на гигантские уровни концентрации радионуклидов в водоемах Гомельской и Могилевской областей - до 1 миллиона Бк на 1 м<sup>3</sup> тины - люди там продолжают заниматься рыболовством.

Белорусский Комитет по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, высказывая серьезную озабоченность по этому поводу,

предупреждает, что "озерные водоемы играют значительную роль в формировании доз облучения населения через пищевые цепи".

В Беларуси, по официальным данным, концентрация радионуклидов в грунтовых водах не превышает Республиканских допустимых уровней. Однако все же признается, что средняя концентрация радионуклидов в грунтовых водах на протяжении 16 постчернобыльских лет повысилась на один-два порядка по сравнению с до аварийным значением.

В 30-километровой запретной зоне вблизи реактора, а также в 6-ти южных районах Гомельской области и в одном районе Могилевской области государственные органы и эксперты опасаются заражения грунтовых вод америцием. Это изотоп, в который превращается плутоний. Америций быстрее плутония проникает в глубокие почвенные слои. И эта проблема будет волновать людей еще очень долгое время. Америций распадется на половину лишь спустя 433 года.

За исключением территорий внутри запретной зоны, вдыхаемый на зараженных территориях воздух чист. Однако как в запретной зоне, так и за ее пределами серьезной проблемой на сегодняшний день остается загрязнение воздуха в результате пылеобразования при вспахивании, в результате лесных пожаров и ветряной эрозии почв.

Мировая научная общественность едина в том, что радиоактивное излучение может привести к изменению генофонда. В отношении флоры и фауны зараженных территорий уже проведено множество исследований.

Белорусский генетик Геннадий Лазюк провел статистическое исследование 10 наиболее частых видов патологий у новорожденных в Беларуси с 1982г. и сравнил количество патологий до и после аварии на ЧАЭС. Его вывод: число патологий прямо пропорционально уровню загрязненности территории.

В двух исследовательских работах, опубликованных в журнале "Nature", ученые сообщают о найденных индициях, подтверждающих, что у детей, родители которых были подвержены облучению вследствие Чернобыльской аварии, наблюдается значительно большее количество мутаций в малом геноме-спутнике человека, чем предполагалось. При этом мутации зависели от уровня загрязнения почвы в местах проживания родителей. Процент мутаций у детей от облученных родителей повышался в зависимости от дозы облучения.

В другом исследовании утверждается, что генетические дефекты вызываются не только высокими дозами радиации (более 0,5 Зв) но и низкими дозами облучения.

Исследователи из Израиля и Украины обследовали детей ликвидаторов, зачатых после аварии на ЧАЭС и живущих ныне на Украине и в Израиле. Количество изменений ДНК, т.е. той молекулярной цепочки, которая несет в себе программу развития клетки и ее генетический код, у этих детей превышает аналогичный показатель у их братьев и сестер, зачатых до Чернобыля, в 7 раз.

На 4-ой Международной конференции "Дети Чернобыля - медицинские последствия и социально-психологическая реабилитация", проведенной в июне 2003 года, участники также подчеркнули, что воздействия радиоактивного облучения на наследственность требуют дальнейших исследований.

Авария на ЧАЭС нанесла многоуровневый ущерб экономикам Беларуси, Украины и некоторым регионам России. Общий объем экономического ущерба в этих трех странах, согласно докладу Программы развития ООН (ПРООН/UNDP) и Детского Фонда ООН (ЮНИСЕФ/UNICEF), поддается лишь приблизительному подсчету. Не существует данных, собранных во всех этих странах по единой методике. Экономический ущерб при этом плотно увязывается с государственными расходами.

Институт экономики Национальной академии наук Республики Беларусь оценивает экономические потери страны в первые 30 лет после аварии на ЧАЭС в 43,3 млрд. долларов США. Общие потери за этот период оцениваются в 235 млрд. долларов США, что соответствует 32 государственным бюджетам страны 1989 года. Доля расходов госбюджета на чернобыльские проблемы составила в 1991г. 16,8%, в 1996г. - 10,9%. В настоящее время страна тратит на финансирование государственных чернобыльских программ 6% своего бюджета.

Белорусский государственный Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС среди негативных последствий аварии выделяет следующие: полная либо частичная потеря сельскохозяйственных угодий и природных ископаемых, падение производственных мощностей и потери рабочей силы на загрязненной территории, падение стоимости продукции, произведенной на загрязненной территории.

По информации ПРООН и ЮНИСЕФ на зараженных территориях были закрыты и выведены из производственного цикла 54 крупных сельскохозяйственных и лесных хозяйств, 9 промышленных предприятий, 22 месторождения полезных ископаемых.

Беларусь взимают для покрытия расходов на борьбу с последствиями аварии на ЧАЭС специальный "чернобыльский" налог. Первоначально все предприятия, за исключением сельскохозяйственных, передавали государству от 18 до 19% фонда заработной платы. Этот налог взимается и по сей день, в Беларуси он составляет уже только 4%.

Основная часть государственных средств в Беларуси направлялась сначала на финансирование инфраструктурных программ и программ по отселению. Доля этих расходов составляла до 1993 года 70% всего чернобыльского фонда. До 1996г. в Беларуси было отселено 131 200 человек и построено для них 64 836 квартир и домов. С 1995г. центр тяжести перенесен на финансирование социальных и медицинских чернобыльских программ.

На Украине и в России социальные программы стояли на первом месте с самого начала. Они включали в себя ежемесячные выплаты, субвенции на

приобретение медицинских препаратов, бесплатное питание школьников и студентов по месту учебы, ежегодный курс санаторного лечения. По финансовым причинам на практике реализовывалась лишь часть этих программ.

### **Заключение**

В результате Катастрофы на ЧАЭС:

23% территории Беларуси были загрязнены долгоживущими радиоактивными изотопами (4,8 % территории Украины и 0,5% территории России);

пострадало 2,3 миллиона человек;

2 640 квадратных километров пахотной земли были запрещены для использования;

17 300 квадратных километров лесов имеют опасные уровни радиоактивного загрязнения;

135 000 человек были перемещены в незагрязненные области Беларуси, жители 415 поселений были эвакуированы;

девять заводов и фабрик агропромышленного комплекса и 54 коллективных хозяйств были закрыты;

школы, детские сады, больницы и другие медицинские учреждения в загрязненных областях также были закрыты. Загрязненные области значительно пострадали в результате оттока квалифицированных специалистов.

По оценкам специалистов, ущерб, нанесенный аварией на Чернобыльской АЭС, равняется 235 миллиардам долларов США, что составляет 32 годовых бюджета страны за 1986 год, когда произошла авария.

Последствия Чернобыльской аварии для окружающей среды нельзя сводить только к пространственному распределению зон радиоактивного загрязнения. Радиоактивные цезий, стронций и плутоний все больше распространяются по цепочке: Почва - Растение - Животное/Человек. Другими путями территориального распространения радионуклидов являются эрозия почвы под воздействием ветра, лесные пожары, а также сельскохозяйственное использование земель и миграция радионуклидов в речных водах.

### **Литература**

Основная

1. Конституция Республики Беларусь (с изменениями и дополнениями): Закон Республики Беларусь // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 1999. № 1. 1/0.

2. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / В.А. Круглов, С.П. Бабовоз, В.Н. Пилипчук и др. / Под ред. В.А. Круглова. - Мн.: Амалфея, 2003. - 368 с.

3. Сантарович, В.М. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность // В.М. Сантарович,

А.В.Долидович, В.В. Захарченко / рец. А. А. Капуцкий, В. Г. Бриш, В. Н. Чапайло. Минск : Бизнесофсет, 2007. ? 400 с.

Дополнительная

4. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Республики Беларусь от 26 мая 2012 года №385-З// Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. ? 2012 . ? № 63. ? 2/1937. ? С. 13-28.

5. Бабовоз, С. П. Гражданская оборона в Республике Беларусь [Учеб. пособие для вузов МВД] / С. П. Бабовоз, В. А. Круглов, В. А. Генералов. - Мн.: Амалфея, 2000. - 224 с.

6. Чернобыльская катастрофа: радиационная защита населения / В.Б. Нестеренко. - Минск-Майнц (Германия), 1998. - 172 с.

7. 20 лет после Чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / под ред, В. Е, Шевчука и В. Л. Гурачевского. - Мн.: Издательство "Беларусь", 2006. - 111 с.